

**PENGARUH VARIASI LETAK TRANSDUSER PADA ALAT UPVT  
(ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST) TERHADAP  
PENGUKURAN VARIASI KEDALAMAN RETAK BETON**

**SKRIPSI**

**TEKNIK SIPIL**

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**NAUFAL RAFIF RIZQULLAH**

**NIM. 175060101111015**

**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
MALANG**

**2021**

**LEMBAR PENGESAHAN**  
**PENGARUH VARIASI LETAK TRANSDUSER PADA ALAT UPVT**  
**(*ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST*) TERHADAP PENGUKURAN**  
**VARIASI KEDALAMAN RETAK BETON**

**SKRIPSI**

TEKNIK SIPIL

Ditujukan untuk memenuhi persyaratan memperoleh  
gelar Sarjana Teknik



**NAUFAL RAFIF RIZQULLAH**

**NIM. 175060101111015**

Skripsi ini telah direvisi dan disetujui oleh dosen pembimbing  
pada tanggal 26 Juli 2021

Dosen Pembimbing I

Ir. Christin Remayanti N, S.T., M.T.  
NIP. 19840325 201504 2 001

Dosen Pembimbing II

Ir. Siti nurlina, M.T., IPP  
NIP. .19650423 199002 2 001



Mengetahui  
Ketua Program Studi

Ir. Indradi W., ST., M.Eng. (Pract)  
NIP. 19810220 200604 1 002

## PERNYATAAN ORISINALITAS SKRIPSI

Saya menyatakan dengan sebenar-benarnya bahwa sepanjang pengetahuan saya dan berdasarkan hasil penelusuran berbagai karya ilmiah, gagasan dan masalah ilmiah yang diteliti dan diulas di dalam Naskah Skripsi ini adalah asli dari pemikiran saya. tidak terdapat karya ilmiah yang pernah diajukan oleh orang lain untuk memperoleh gelar akademik di suatu Perguruan Tinggi, dan tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis dikutip dalam naskah ini dan disebutkan dalam sumber kutipan dan daftar pustaka.

Apabila ternyata didalam naskah Skripsi/Tesis/Disertasi inidapat dibuktikan terdapat unsur-unsur jiplakan, saya bersedia Skripsi/Tesis/Disertasi dibatalkan, serta diproses sesuai dengan peraturan perundang-undangan yang berlaku (UU No. 20 Tahun 2003, pasal 25 ayat 2 dan pasal 70).

Malang, 26 Juli 2021

Mahasiswa,



Naufal Rafif Rizqullah  
NIM. 175060101111015





**UNIVERSITAS BRAWIJAYA  
FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM SARJANA**



## **SERTIFIKAT BEBAS PLAGIASI**

Nomor : 010/UN10.F07.11.11/PP/2021

Sertifikat ini diberikan kepada :

**NAUFAL RAFIF RIZQULLAH**

Dengan Judul Skripsi :

**PENGARUH VARIASI LETAK TRANSDUSER PADA ALAT UPVT  
(ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST) TERHADAP PENGUKURAN VARIASI KEDALAMAN RETAK BETON**

Telah dideteksi tingkat plagiasinya dengan kriteria toleransi  $\leq 20\%$ , dan  
dinyatakan Bebas dari Plagiasi pada tanggal 9 Agustus 2021



Jurusan Teknik Sipil

Alwafi Pujiharjo, ST, MT

NIP. 19700829 200012 1 001

Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil

Dr. Eng. Indradi Wijatmiko, ST., M.Eng (Prac)

NIP. 19810220 200604 1 002





*Teriring Ucapan Terima kasih Kepada  
Ibu dan Ayah Tercinta*

## RINGKASAN

**Naufal Rafif Rizquallah**, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Juli 2021, Pengaruh Variasi Letak Transduser pada Alat UPVT (*Ultrasonic Pulse Velocity Test*) terhadap Pengukuran Variasi Kedalaman Retak Beton. Dosen Pembimbing: Ir. Christin Remayanti N., ST., MT. dan Ir. Siti Nurlina, MT., IPP.

Beton merupakan komponen utama struktural yang sering dijumpai pada beberapa pembangunan infrastruktur seperti gedung, jembatan, irigasi, bendungan, dan jalan. Namun sering dijumpai beragam permasalahan saat proses konstruksi maupun pasca konstruksi pada proyek – proyek di lapangan dan salah satunya keretakan pada beton yang dapat mengakibatkan melemahnya kekuatan struktur. Oleh karena itu, perlu dilakukan identifikasi kedalaman retak pada struktur agar dapat mengetahui perlakuan yang tepat untuk dilakukan pada struktur beton yang mengalami retak. Untuk mengidentifikasi kedalaman retak pada beton dapat menggunakan metode *Non Destructive Test* dan salah satunya dengan UPVT (*Ultrasonic Pulse Velocity Test*).

Penelitian ini menggunakan benda uji beton tidak bertulang dengan variasi kedalaman retak 4 cm, 8 cm dan 12 cm. Penelitian ini dilakukan dengan mengidentifikasi variasi kedalaman retak tersebut dengan pengujian UPV menggunakan alat PUNDIT PL-200. Pengujian dilakukan dengan variasi perletakan transduser yang terdiri dari 5 cm, 10 cm, dan 15 cm. Hasil pengujian UPV menunjukkan bahwa terdapat pengaruh variasi perletakan transduser dan variasi kedalaman retak terhadap pembacaan kedalaman retak pada beton. Hal tersebut ditunjukkan dengan adanya perbedaan pada waktu transmisi gelombang dan hasil pembacaan. Hasil pembacaan pada beton dengan kedalaman retak 4 cm memiliki nilai kesalahan relatif terhadap nilai aktual terbesar yaitu sebesar 8,5 % pada jarak transduser 5 cm dan yang terkecil yaitu sebesar 0,5 % pada jarak transduser 15 cm. Beton dengan kedalaman retak 8 cm memiliki hasil pembacaan dengan nilai kesalahan relatif terhadap nilai aktual terbesar yaitu sebesar 46,5 % pada jarak transduser 5 cm dan yang terkecil yaitu sebesar 4 % pada jarak transduser 15 cm. Dan beton dengan kedalaman retak 12 cm memiliki hasil pembacaan dengan nilai kesalahan relatif terhadap nilai aktual terbesar yaitu sebesar 57,33 % pada jarak transduser 5 cm dan yang terkecil yaitu sebesar 0,17 % pada jarak transduser 15 cm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin kecil jarak antar transduser maka nilai yang dihasilkan pada hasil pembacaan semakin menjauhi nilai retak aktual. Hasil pengujian UPV pada penelitian ini juga menunjukkan bahwa semakin besar jarak perletakan transduser dan kedalaman retak maka semakin meningkat waktu transmisi gelombang yang dihasilkan.

Kata Kunci : Retak, UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*), Transduser



## SUMMARY

**Naufal Rafif Rizqullah**, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Universitas Brawijaya, July 2021, The Effect of Transducer Location on The Variation Crack Depth Measurement in Concrete Using UPV (Ultrasonic Pulse Velocity). Supervisor: Ir. Christin Remayanti N., ST., MT. and Ir. Siti Nurlina, MT., IPP.

Concrete is the main structural component that is often found in several infrastructure developments such as buildings, bridges, irrigation, dams, and roads. However, various problems are often encountered during the construction and post-construction processes on projects in the field and one of them is cracks in the concrete which can lead to the weakening of the strength of the structure. Therefore, it is necessary to identify the depth of cracks in the structure in order to find out the right treatment to be carried out on cracked concrete structures. To identify the depth of cracks in concrete can use the Non-Destructive Test method and one of them is the UPVT (Ultrasonic Pulse Velocity Test).

This study used unreinforced concrete specimens with variations in crack depth of 4 cm, 8 cm, and 12 cm. This research was conducted by identifying the variation of the crack depth by UPV testing using the PUNDIT PL-200 tool. The test was carried out with variations in the placement of the transducer consisting of 5 cm, 10 cm, and 15 cm. The results of the UPV test show that there is an effect of variations in transducer placement and variations in crack depth on the reading of crack depth in concrete. This is indicated by the difference in the transmission time of the wave and the reading results. The readings on concrete with a crack depth of 4 cm have the largest error value relative to the actual value, which is 8.5% at a transducer distance of 5 cm and the smallest is 0.5% at a transducer distance of 15 cm. Concrete with a crack depth of 8 cm has a reading with the largest error value relative to the actual value, which is 46.5% at a transducer distance of 5 cm and the smallest is 4% at a transducer distance of 15 cm. And concrete with a crack depth of 12 cm has a reading with the largest error value relative to the actual value, which is 57.33% at a transducer distance of 5 cm and the smallest is 0.17% at a transducer distance of 15 cm. So it can be concluded that the smaller the distance between the transducers, the value produced in the reading is getting further away from the actual crack value. The results of the UPV test in this study also showed that the greater the distance between the transducers and the depth of the crack, the higher the transmission time of the resulting wave.

**Keywords:** Crack, UPV (Ultrasonic Pulse Velocity), Transducer





## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan segala rahmat-Nya dan karunia-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“PENGARUH VARIASI PERLETAKAN TRANSMITTER DAN REDUCER TERHADAP PENGUKURAN KEDALAMAN RETAK BETON PADA ALAT UPVT (*ULTRASONIC PULSE VELOCITY TEST*)”** dengan baik dan lancar.

Skripsi ini merupakan salah satu persyaratan terakhir akademik yang telah ditetapkan untuk menyelesaikan tahap sarjana di **Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya**.

Tentunya penulis mampu menyelesaikan skripsi ini dengan lancar karena bantuan dari banyak pihak. Karena itu, penulis ingin mengucapkan banyak terima kasih kepada :

1. Keluarga saya tercinta yaitu Ayah Candra Alfian, Ibu Sri Muliani, Adik saya Hilal Luthfi Hibatullah dan Faiz Zaidan Rahmatullah yang selalu memberikan dukungan dan suntikan semangat setiap saat sehingga saya mampu menyelesaikan skripsi ini.
2. Dr. Eng. Ir. Alwafi Pujiraharjo, ST, MT selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
3. Dr. Eng. Ir. Eva Arifi, ST, MT selaku Sekretaris Jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
4. Dr. Eng. Ir. Indradi Wijatmiko, ST, M.Eng (Pract) selaku Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil Universitas Brawijaya dan Dosen Pembimbing.
5. Ir. Christin Remayanti N., ST, MT selaku Dosen Pembimbing 1 Skripsi.
6. Ir. Siti Nurlina, MT., IPP selaku Dosen Pembimbing 2 Skripsi.
7. Ir. Sugeng Prayitno Budio, MS, IPM selaku Ketua Majelis.
8. Ir. Indra Waluyohadi, ST., MT., M.Sc selaku Dosen Penasehat Akademik.
9. Dr. Ir. Wisnumurti, MT selaku KKJF Struktur.
10. Bapak dan Ibu Dosen yang telah membimbing saya selama berada di lingkungan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
11. NDT *Team* (Aldi Alfiansyah, Abid Febrian, Candra Adi, Nungki Yuniawati, dan Yustisya Madani) selaku rekan seperjuangan pengerjaan laporan skripsi.
12. Fiisabilillah *Gangster* (Aldi Alfiansyah, Alang Candra, Candra Adi, Egi Pradana, Fani Natasa, dan Sri Heryanto) selaku rekan seperjuangan di FORSIS FT-UB.
13. Angkatan 2 Pramuka SMAN 4 Medan yang sudah memberikan suntikan motivasi untuk terus semangat dan berkembang.



14. Harizal Syahputra, ST, selaku kakak yang senantiasa memberikan semangat dan motivasi untuk terus berkembang.

15. Ardyza Perdani Ika Sari yang selalu menemani dalam proses pengerjaan skripsi serta memberikan suntikan motivasi yang positif.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini jauh dari kesempurnaan, untuk itu segala kritik dan saran yang bersifat membangun sangat diharapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Malang, Juli 2021

Penulis





## DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
DAFTAR ISI.....	iii
DAFTAR TABEL.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR LAMPIRAN.....	xi
<b>BAB I.....</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Identifikasi Masalah.....	2
1.3 Rumusan Masalah.....	3
1.4 Batasan Masalah.....	3
1.5 Tujuan.....	3
1.6 Manfaat.....	3
<b>BAB II.....</b>	<b>5</b>
2.1 Beton.....	5
2.2 Jenis – Jenis Beton.....	5
2.3 Material Pembentukan Beton.....	6
2.3.1 Agregat.....	6
2.3.2 Semen <i>Portland</i> .....	7
2.3.3 Air.....	8
2.4 Kuat Tekan Beton.....	9
2.5 Jenis – Jenis Kerusakan pada Beton.....	10
2.6 Retak pada Beton.....	11
2.6.1 Jenis-Jenis Keretakan pada Beton dan Penyebabnya.....	11
2.6.2 Jarak Retak.....	13
2.6.3 Lebar Retak.....	14
2.6.4 Kedalaman Retak.....	15

2.6.4.1 <i>British Standard 1881 (BS 1881)</i> .....	16
2.6.4.2 Metode L-L ( <i>L-L Method</i> ) .....	17
2.6.4.3 Metode Delta ( <i>Delta Method</i> ).....	18
2.7 Metode Pengujian Beton.....	18
2.7.1 Non Destructive Test (NDT).....	19
2.7.2 Destructive Test (DT).....	21
2.8 Rebound Hammer Test.....	22
2.9 Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT).....	22
2.9.1 Komponen Utama Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT).....	23
2.9.2 Metode Pengujian <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> (UPVT).....	23
2.9.3 Gelombang Mekanik.....	25
2.10 Hubungan Antara Keretakan dengan <i>Ultrasonic Pulse Velocity Test</i> (UPVT).....	27
2.11 Peneliti Terdahulu.....	28
2.12 Hipotesis .....	30
<b>BAB III .....</b>	<b>31</b>
3.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	31
3.2 Alat dan Bahan Penelitian .....	31
3.2.1 Alat Penelitian .....	31
3.2.2 Bahan Penelitian .....	31
3.3 Variabel Penelitian.....	31
3.4 Analisa Bahan.....	32
3.4.1 Semen.....	32
3.4.2 Air.....	32
3.4.3 Agregat Kasar Alami ( <i>Natural Coarse Aggregate</i> ).....	32
3.4.4 Agregat Halus.....	32
3.5 Tahap Penelitian.....	33
3.6 Rancangan Penelitian.....	35



3.7 Prosedur Penelitian.....	36
3.7.1 Pengujian Bahan <i>Mix Design</i> .....	36
3.7.2 Pengujian Beton Segar ( <i>Fresh Concrete</i> ).....	37
3.7.3 Pembuatan Benda Uji.....	37
3.7.4 Perawatan Benda Uji Beton.....	37
3.7.5 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV) .....	37
3.7.6 Pengujian Kuat Tekan Beton.....	40
Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dari beton silinder yang sudah berumur 28 hari sehingga dapat diketahui nilai mutu dari beton yang diuji. Pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut : .....	40
3.8 Metode Pengumpulan Data.....	41
3.9 Pengolahan Data.....	41
<b>BAB IV .....</b>	<b>43</b>
4.1 Pembuatan Benda Uji .....	43
4.1.1 Perencanaan Campuran Benda Uji .....	43
4.1.2 Proses Pembuatan Benda Uji.....	43
4.1.3 Proses <i>Curing</i> .....	44
4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan menggunakan <i>Compressive Test</i> .....	45
4.3 Pengujian Kuat Tekan Menggunakan <i>Hammer Test</i> .....	46
4.4 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV).....	48
4.4.1 Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm .....	51
4.4.2 Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm .....	54
4.4.3 Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm .....	57
4.5 Analisis Statistik.....	59
4.5.1 Hasil Pembacaan Kedalaman Retak Beton (h).....	60
4.5.1.1 Analisis pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 Cm .....	60
4.5.1.2 Analisis pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 Cm .....	62



4.5.1.3 Analisis pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 Cm.....	64
---	----

4.5.2 Waktu Transmisi Gelombang Pertama (t1) dan Kedua (t2) .....	66
---	----

4.5.2.1 Analisis Waktu Transmisi Gelombang Pertama (t1) terhadap Variasi Perletakan Transduser.....	66
---	----

4.5.2.2 Analisis Waktu Transmisi Gelombang Kedua (t2) terhadap Variasi Perletakan Transduser.....	69
---	----

<b>BAB V .....</b>	<b>73</b>
--------------------	-----------

5.1 Kesimpulan.....	73
---------------------	----

5.2 Saran.....	74
----------------	----

<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>75</b>
-----------------------------	-----------

<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>77</b>
----------------------	-----------



## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur.....	10
Tabel 2. 2 Nilai Konversi Kuat Tekan Beton.....	10
Tabel 2. 3 Lebar-Lebar Retak yang Dapat Ditoleransi.....	15
Tabel 2. 4 Penelitian Terdahulu.....	28
Tabel 3. 1 Rancangan Benda Uji.....	35
Tabel 3. 2 Form – Form Waktu Tempuh Gelombang dan Hasil Pembacaan Kedalaman Retak .....	42
Tabel 4. 1 Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji.....	43
Tabel 4. 2 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Menggunakan Uji Tekan Compressive Test.....	45
Tabel 4. 3 Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Menggunakan Uji Tekan Hammer Test.....	47
Tabel 4. 4 Hasil Pengujian UPV pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm.....	51
Tabel 4. 5 Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris Kedalaman Retak pada Beton dengan Kedalaman Retak 4 cm .....	52
Tabel 4. 6 Hasil Pengujian UPV pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm.....	54
Tabel 4. 7 Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris Kedalaman Retak pada Beton dengan Kedalaman Retak 8 cm .....	55
Tabel 4. 8 Hasil Pengujian UPV pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm.....	57
Tabel 4. 9 Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris Kedalaman Retak pada Beton dengan Kedalaman Retak 8 cm .....	58
Tabel 4. 10 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk.....	60
Tabel 4. 11 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic .....	60
Tabel 4. 12 Hasil uji ANOVA .....	61
Tabel 4. 13 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk.....	62
Tabel 4. 14 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic .....	62
Tabel 4. 15 Hasil uji ANOVA.....	63
Tabel 4. 16 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk.....	64



Tabel 4. 17 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic.....	64
Tabel 4. 18 Hasil uji ANOVA .....	65
Tabel 4. 19 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 10 cm.....	66
Tabel 4. 20 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 10 cm.....	66
Tabel 4. 21 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 15 cm.....	67
Tabel 4. 22 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 15 cm .....	67
Tabel 4. 23 Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ ) .....	67
Tabel 4. 24 Hasil uji ANOVA pada Perletakan Transduser 15 cm .....	68
Tabel 4. 25 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 10 cm .....	69
Tabel 4. 26 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 10 cm .....	69
Tabel 4. 27 Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 15 cm .....	70
Tabel 4. 28 Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 15 cm .....	70
Tabel 4. 29 Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Kedua ( $t_2$ ) .....	70
Tabel 4. 30 Hasil uji ANOVA pada Perletakan Transduser 10 cm .....	71
Tabel 4. 31 Hasil uji ANOVA pada Perletakan Transduser 15 cm .....	72



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 Pola Retak Beban; (a) Retak Lentur; (b) Retak Geser Web; (c) Retak Geser Lentur; (d) Retak Puntir; (e) Retak Lekatan.....	12
Gambar 2. 2 Retak primer dan sekunder pada akibat batang tarik beton bertulang.....	14
Gambar 2. 3 Estimasi Kedalaman Retak dengan Metode BS 1881 .....	16
Gambar 2. 4 Metode L-L; (a) Permukaan Beton yang Tidak Mengalami Retak; (b) Permukaan Beton yang Mengalami Retak.....	17
Gambar 2. 5 Metode Delta .....	18
Gambar 2. 6 Mekanisme Kerja dari Rebound Hammer Test.....	22
Gambar 2. 7 Diagram Skematik dari Instrument UPV.....	23
Gambar 2. 8 Penggunaan Alat UPVT dengan Metode Direct (Langsung).....	24
Gambar 2. 9 Penggunaan Alat UPVT dengan Metode Semi Direct (Semi Langsung).....	24
Gambar 2. 10 Penggunaan Alat UPVT dengan Metode Indirect (Tidak Langsung).....	25
Gambar 2. 11 Perambatan partikel pada gelombang S-Waves Sumber : www.studiobelajar.com.....	25
Gambar 2. 12 Perambatan Partikel pada Gelombang P-Waves .....	26
Gambar 2. 13 Perambatan Partikel pada Gelombang Surface Waves (a) Gelombang Love (b) Gelombang Rayleigh.....	26
Gambar 2. 14 Pergerakan Gelombang Ultrasonik pada Kondisi Normal dan Retak .....	27
Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian .....	34
Gambar 3. 2 Dimensi Benda Uji Balok yang Diberi Keretakan .....	35
Gambar 3. 3 Variasi Kedalaman Retak pada Benda Uji Balok.....	36
Gambar 3. 4 Dimensi Silinder Beton.....	36
Gambar 3. 5 Percobaan UPVT Metode Indirect .....	38
Gambar 3. 6 Alat UPVT.....	38
Gambar 3. 7 Titik Perletakan Transduser pada Pengujian UPVT pada Permukaan Retak ..	39
Gambar 3. 8 Pengujian UPV pada Benda Uji Balok.....	40
Gambar 3. 9 Uji Kuat Tekan .....	41
Gambar 3. 10 Tampilan Data Hasil UPVT pada Aplikasi PL-Link.....	41
Gambar 4. 1 Pembuatan Benda Uji. (a) Pengadukan beton menggunakan concrete mixer; (b) Pengujian slump; (c) Pemadatan beton menggunakan vibrator.....	44
Gambar 4. 2 Benda Uji. (a) Campuran pada cetakan silinder; (b) Campuran pada bekisting kayu.....	44



Gambar 4. 3 Uji Kuat Tekan Menggunakan Compressive Test. (a) Capping benda uji silinder; (b) Pengujian kuat tekan dengan compressive test.....	45
Gambar 4. 4 Grafik Rata-Rata Hasil Compressive Test Beton Normal pada Benda Uji dengan Kedalaman Retak 4, 8, dan 12 cm.....	46
Gambar 4. 5 Pengujian Kuat Tekan dengan Hammer Test.....	47
Gambar 4. 6 Grafik Hasil Hammer Test Beton Normal pada Benda Uji dengan Kedalaman Retak 4, 8, dan 12 cm. ....	48
Gambar 4. 7 Pengujian UPV menggunakan metode Crack Depth.....	49
Gambar 4. 8 Pengambilan Data Menggunakan Metode Crack Depth.....	50
Gambar 4. 9 Tampak Samping Benda Uji Balok.....	50
Gambar 4. 10 Tampak Atas Benda Uji Balok.....	50
Gambar 4. 11 Grafik Hasil Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm.....	52
Gambar 4. 12 Grafik Nilai Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm.....	53
Gambar 4. 137 Grafik Hubungan Jarak Transduser dengan Pembacaan Kedalaman Retak Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm.....	61
Gambar 4. 148 Grafik Hubungan Jarak Transduser dengan Pembacaan Kedalaman Retak Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm.....	63
Gambar 4. 159 Grafik Hubungan Jarak Transduser dengan Pembacaan Kedalaman Retak Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm.....	65
Gambar 4. 16 Grafik Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ ).....	68
Gambar 4. 17 Grafik Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Kedua ( $t_2$ ).....	71



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 5 cm.....	77
Lampiran 2. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 5 cm.....	78
Lampiran 3. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 10 cm.....	79
Lampiran 4. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 10 cm.....	80
Lampiran 5. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 15 cm.....	81
Lampiran 6. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 15 cm.....	82
Lampiran 7. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 5 cm.....	83
Lampiran 8. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 5 cm.....	84
Lampiran 9. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 10 cm.....	85
Lampiran 10. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 10 cm.....	86
Lampiran 11. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 15 cm.....	87
Lampiran 12. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 15 cm.....	88
Lampiran 13. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 5 cm.....	89
Lampiran 14. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 5 cm.....	90
Lampiran 15. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Crack Depth’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 10 cm.....	91
Lampiran 16. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 10 cm.....	92

Lampiran 17. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak

Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 15 cm ..... 93

Lampiran 18. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Transmission Time' pada Beton

Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 15 cm..... 94





## BAB I PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Sektor bidang konstruksi di Indonesia merupakan salah satu penyumbang terbesar pada pertumbuhan ekonomi dari Produk Domestik Bruto (PDB) Nasional, hal ini ditunjukkan dengan angka mencapai 10,5% pada tahun 2016. Sektor konstruksi juga memiliki *multiplier effect* terhadap sektor lain. Indonesia juga merupakan negara dengan pasar konstruksi terbesar ke 4 di Asia, urutan ini didapat setelah Jepang, India dan juga China. Terhitung sampai tahun 2021, Indonesia telah memiliki badan usaha yang bergerak di sektor konstruksi sebanyak 77.000 perusahaan, 101.000 perusahaan dengan keahlian serta 1.974 kontraktor yang sudah dikategorikan sebagai kontraktor spesialis. Sehingga dengan besarnya peran sektor konstruksi sejalan dengan pembangunan infrastruktur yang masif di Indonesia.

Beberapa pembangunan infrastruktur seperti jembatan, irigasi, bendungan, jalan hingga sarana pengaman pantai telah ditetapkan oleh pemerintah Indonesia. Dengan sejumlah target pembangunan fisik infrastruktur yang tidak sedikit, membutuhkan pasokan material konstruksi dalam volume yang besar dan beton merupakan salah satunya. Beton sendiri memiliki keunggulan antara lain mutu yang dapat didesain, bahan bakunya relatif tersedia, mudah dibentuk, tahan terhadap lingkungan yang ekstrim dan suhu yang tinggi. Adanya tuntutan akan produk konstruksi yang lebih baik dari segi kualitas, efisiensi dan harga yang semakin meningkat dari tahun ke tahun, mendorong adanya perkembangan pada teknologi beton yang sesuai dengan tuntutan yang ada yakni lebih berkualitas, cepat dalam pengerjaan namun juga dengan harga yang relative terjangkau.

Kerusakan pada beton umumnya dijumpai saat proses konstruksi maupun pasca konstruksi. Kerusakan pada elemen beton yang sering dijumpai yakni pada elemen structural bangunan seperti kolom, pelat, balok, dan dinding beton. Kerusakan yang terjadi pada elemen beton struktural berakibat pada melemahnya struktur tersebut sehingga berpengaruh pada banyak hal dalam pekerjaan konstruksi antara lain time line dan juga biaya konstruksi di kemudian hari. Beberapa kesalahan yang sering terjadi yang berakibat pada kerusakan beton yaitu kesalahan pembesian, pelepasan bekisting, tinggi jatuh pengecoran, vibrator,

kegagalan desain dan beberapa factor lainnya. Kerusakan yang sering dijumpai di lapangan antara lain retak pada beton dan *voids* atau *honeycomb*.

Retak merupakan jenis kerusakan yang paling umum pada struktur beton, retak yang biasanya terjadi berupa retak halus yang seiring waktu akan tampak seperti retak susut. Terjadinya retak adalah saat beton mengalami tarik, tegangan tarik yang terjadi akan mempengaruhi beton sebelum akhirnya akan diambil alih oleh tulangan baja, hal tersebut sudah harus diperhitungkan pada perencanaan beton sesuai dengan standart yang berlaku. Oleh karena itu, untuk mengetahui perlakuan yang tepat untuk dilakukan terhadap struktur beton yang mengalami retak, maka perlu diidentifikasi kedalaman retak struktur tersebut. Identifikasi kedalaman retak yang terjadi pada beton dapat dilakukan dengan UPVT atau *Ultra Pulse Velocity Test*.

Prinsip kerja UPVT atau *Ultrasonic Pulse Velocity Test* adalah dengan memanfaatkan gelombang ultrasonic yang merambat pada struktur beton, dengan rambatan gelombang tersebut akan dihitung waktu tempuh dan jarak kedalaman retak beton. *Transmitter Transduser* akan mengeluarkan gelombang ultrasonik yang akan ditangkap oleh *receiver transduser* kemudian waktu tempuhnya dilihat pada read-Out unit PUNDIT (*Portable Unit Non Destructive Indicator Tester*) dalam mikro sekon ( $\mu s$ ). *Transmitter transduser* ini diletakkan pada permukaan benda uji yang relative rata. Untuk perkiraan kedalaman retak pada beton menggunakan metode *Indirect method* yang memiliki cara kerja menghitung waktu perambatan gelombang *ultrasonic* dari *transmitter* menuju *receiver* yang dilakukan pada satu bidang permukaan struktur beton.

## 1.2 Identifikasi Masalah

Untuk mengidentifikasi kedalaman retak yang terjadi pada struktur beton yang akan diuji, dapat digunakan alat *Ultrasonic Pulse Velocity Test* (UPVT) melalui fitur '*crack depth*' yang terdapat pada PUNDIT PL-200. Pengujian dilakukan dengan metode tidak langsung (*indirect method*) yang digunakan untuk mengukur waktu transmisi gelombang dari *transmitter* menuju *receiver* pada satu bidang permukaan yang sama dengan penempatan posisi transduser yang sudah ditentukan. Ketika gelombang melewati garis keretakan maka akan terjadi loncatan waktu transmisi gelombang pada saat pembacaan berlangsung. Untuk mengetahui kedalaman retak pada struktur beton dilakukan dengan menggunakan metode *British Standard 1881* (BS 1881) yang merupakan standar perhitungan yang digunakan pada PUNDIT PL-200.



### 1.3 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan diatas dapat diberikan kesimpulan bahwa terdapat beberapa rumusan masalah, yaitu ‘Bagaimana pengaruh variasi perletakan transduser pada alat UPV *Test* terhadap pengidentifikasian variasi kedalaman retak pada struktur beton ?’.

### 1.4 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, penulis membatasi masalah menjadi beberapa bagian yaitu :

1. Pengujian benda uji dilakukan dengan UPV *Test* yang memiliki variasi jarak perletakan *transmitter* dan *receiver* pada permukaan yang mengalami retak sebesar 5, 10, hingga 15 cm dari garis retak.
2. Penelitian ini hanya menggunakan keretakan lurus dengan variasi kedalaman 4 cm, 8 cm dan 12 cm.
3. Pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan alat PUNDIT PL-200.
4. Pengujian UPV dilakukan dengan menggunakan mode pengukuran ‘*crack depth*’ pada alat PUNDIT PL-200.
5. Penelitian ini menggunakan kondisi keretakan dangkal (*shallow crack*).

### 1.5 Tujuan

Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu untuk menganalisis pengaruh variasi perletakan transduser pada alat UPV *Test* terhadap pengidentifikasian variasi kedalaman retak pada struktur beton.

### 1.6 Manfaat

Adapun beberapa manfaat yang diharapkan oleh peneliti sendiri yang diperoleh dari penelitian ini antara lain :

1. Bagi Penulis :
  - Dapat mengetahui alat UPV *Test* secara langsung.
  - Dapat mengetahui cara penggunaan alat UPV *Test* dalam mengidentifikasi kedalaman retak pada beton.
2. Bagi Pembaca :
  - Dapat mengetahui gambaran hasil dari alat UPV *Test* dalam mengidentifikasi retak pada beton.

- Dapat mengetahui efektifitas penggunaan alat *UPV Test* dalam mengidentifikasi kedalaman retak pada beton sehingga dapat memudahkan dan memberikan pandangan kepada pembaca dalam penggunaan alat *UPV Test*.





## BAB II

### TINJAUAN PUSTAKA

#### 2.1 Beton

Beton adalah bahan campuran antara agregat dan bahan pengikat berupa semen yang merupakan salah satu bahan bangunan yang kerap digunakan sebagai struktur utama pada konstruksi. Bentuk beton yang sering dijumpai adalah beton semen *Portland*, adapun bahan penyusun beton adalah campuran agregat halus, agregat kasar berupa batuh pecah atau kerikil, semen, air, udara dan bahan tambah (*admixture*) dengan rasio yang sesuai.

Nugraha, Paul (2007), memberikan pernyataan bahwa pada beton yang bagus, setiap butir agregat harus terbalut dengan mortar. Ruang antar agregat dalam beton yang bagus harus terisi sepenuhnya oleh mortar atau pasta semen, dimana pasta semen ini berpengaruh besar pada kualitas beton yang dihasilkan. Komposisi semen pada beton yang baik berkisar antara 7-15% dari campuran total, meskipun begitu semen memegang peranan utama dalam campuran beton. Berdasarkan kuantitas kandungan semennya, beton dibedakan menjadi beton kurus (kandungan semen 7%) dan beton gemuk (*rich concrete*) yaitu beton dengan kandungan semen lebih dari 7%.

#### 2.2 Jenis – Jenis Beton

Berdasarkan jenisnya, beton dibagi menjadi beberapa jenis antara lain :

##### a. Beton Ringan

Beton ringan dibuat dengan menggunakan bahan-bahan penyusun seperti agregat ringan, sehingga menghasilkan beton dengan berat yang lebih ringan dari beton pada umumnya. Agregat ringan yang umum digunakan untuk menghasilkan beton ringan biasanya merupakan hasil dari pembakaran bahan-bahan vulkanik seperti pasir dll. Agregat ringan yang dimaksud untuk campuran beton ringan biasanya memiliki berat jenis sekitar 1900 kg/m<sup>3</sup> atau antara 1440 – 1850 kg/m<sup>3</sup> bergantung pada perencanaan struktur yang sudah dibuat sebelumnya.

##### b. Beton Berat

Berkebalikan dengan beton ringan, beton berat merupakan beton yang dihasilkan dari campuran agregat yang memiliki berat jenis besar sehingga menghasilkan berat beton yang lebih besar daripada beton normal pada umumnya.

##### c. Beton Normal



Beton normal memiliki berat jenis sekitar  $2200 - 2400 \text{ kg/m}^3$ . Pembuatan beton normal umumnya menggunakan pasir dan batu pecah sebagai agregat halus dan kasarnya. Beton ini sangat umum dijumpai sebagai bahan konstruksi di berbagai bangunan sipil.

#### **d. Beton Massa**

Beton massa digunakan pada struktur beton yang berukuran besar dan cenderung masif, contohnya pada konstruksi bendungan, jembatan, pondasi ataupun kanal.

### **2.3 Material Pembentukan Beton**

#### **2.3.1 Agregat**

Agregat adalah salah satu bahan pengisi beton yang kandungannya sekitar 70%-75% dari volume keseluruhan beton. Agregat merupakan batuan-batuan kecil hingga halus yang terbentuk dari hasil desintegrasi alami dari batu-batu yang terjadi secara alami ataupun rekayasa manusia akibat adanya kebutuhan akan ukuran agregat tertentu. Pada pembuatan beton, pemilihan agregat harus dilakukan secara tepat sebab akan berpengaruh pada kualitas dan sifat-sifat beton. Agregat dikelompokkan menjadi 2, yaitu agregat halus dan agregat kasar. Kedua agregat tersebut dapat diperoleh secara alami lewat proses pemecahan batuan secara alami ataupun secara buatan oleh rekayasa manusia.

##### **a. Agregat Halus**

Agregat halus yang digunakan pada campuran beton sebaiknya berbentuk bulat serta memiliki permukaan yang halus, hal ini dikarenakan agregat halus yang berbentuk pipih akan mempengaruhi kebutuhan air pada campuran beton. Penggunaan agregat halus yang memiliki permukaan pipih atau luas permukaannya relative besar akan menyebabkan meningkatnya kuantitas air yang dibutuhkan pada campuran.

Gradasi agregat halus sebaiknya sesuai dengan spesifikasi ASTM C-33, yaitu :

- Butirannya halus.
- Kandungan lumpurnya tidak melebihi dari 5%.
- Kandungan zat organiknya tidak melebihi dari 0,5%. Modulus kehalusan yang dianjurkan pada mutu beton yang tinggi lebih dari atau sama dengan 3,0.
- Diambil dari sumber yang sama dan memiliki gradasi yang cukup baik.

##### **b. Agregat Kasar**

agregat kasar yang digunakan umumnya adalah batu pecah. Pada pekerjaan pencampuran bahan-bahan beton, agregat terlebih dulu diayak untuk memisahkan agregat berdasarkan ukuran butirannya, kemudian agregat kasar akan dicuci guna memisahkan kotoran-kotoran yang menempel yang bisa mempengaruhi kualitas beton nantinya.



Adapun kualitas agregat yang dapat menghasilkan beton mutu tinggi adalah:

- Agregat kasar tidak berpori dan merupakan butiran keras. Agregat yang tidak berpori dibutuhkan guna menjaga beton yang tidak mudah menyerap air, sedangkan sifat agregat yang kerasdi perlukan guna menghasilkan beton yang keras pula. Ketahanan agregat kasar pada cuaca harus diperhatikan. Agregat kasar yang padat/tidak berpori dibutuhkan guna menghasilkan beton yang tahan terhadap resapan air.
- Agregat kasar tidak boleh mengandung unsur organik.
- Kandungan lumpur pada agregat kasar maksimum adalah 10%, dimana yang dimaksud lumpur adalah agregat halus yang lolos ayakan berukuran 0,063 mm.
- Agregat mempunyai bentuk yang tajam. Gesekan yang ditimbulkan oleh bentuk agregat yang kasar ini akan memperkuat ikatan antar agregat sehingga beton akan lebih kokoh.

### 2.3.2 Semen *Portland*

Semen pada campuran beton berfungsi sebagai bahan pengikat hidrolis, dimana nantinya semen akan dicampur dengan air dengan perbandingan tertentu. Semen berbentuk serbuk halus yang akan mengeras saat dicampur air dan didiamkan selama waktu tertentu. Pada proses ini akan ada pengeluaran panas yang ada pada kandungan semen sehingga semen akan mengeras dan membentuk stuktur yang diinginkan. Campuran semen dan air ini disebut pasta semen, kemudian pasta semen akan dicampur dengan agregat halus yang selanjutnya disebut sebagai mortar. Campuran mortar dan agregat tersebut kemudian akan mengeras seiring berjalannya waktu akibat adanya proses penguapan panas secara kimiawi yang kemudian disebut dengan beton. Bahan campuran pada beton dibedakan menjadi kelompok pasif dan kelompok aktif. Kelompok aktif merupakan bahan yang berpengaruh secara fisik dan kimiawi terhadap pembentukan beton, dimana bahan tersebut adalah air dan semen. Sedangkan kelompok pasif yaitu bahan-bahan yang berfungsi sebagai pengisi beton atau pemberi volume beton, dimana kelompok pasif ini adalah agregat kasar dan agregat halus. Semen *Portland* dapat dibagi menjadi beberapa bagian berdasarkan tujuan pemakaiannya, diantaranya :

Tipe I : Semen *Portland* yang biasanya digunakan untuk penggunaan umum dimana persyaratan khusus tidak diperlukan.

Tipe II : Semen *Portland* yang memiliki ketahanan terhadap sulfat dan panas hidrasi tingkat sedang pada penggunaannya.



Tipe III : Semen *Portland* yang menuntut kekuatan awal yang cukup tinggi dalam penggunaannya.

Tipe IV : Semen *Portland* yang memiliki panas hidrasi yang tergolong rendah pada penggunaannya.

Tipe V : Semen *Portland* yang sangat tahan terhadap sulfat tinggi ketika digunakan.

Semen yang bereaksi dengan air kemudian menjadi pasta semen berfungsi sebagai pelekats agregat yang mengisi rongga-rongga antar butir agregat, sehingga campuran komponen tersebut menjadi suatu kesatuan massa yang kompak/padat. Penggunaan semen pada campuran beton harus direncanakan semaksimal mungkin dan seefisien mungkin, karena walaupun volume semen hanya sekitar 10% dari total volume keseluruhan, namun semen memiliki peranan penting dan perlu diperhatikan bahwa harga semen juga relatif mahal.

### 2.3.3 Air

Air adalah bahan yang diperlukan untuk membuat pasta semen. Air akan dicampurkan dengan butiran semen kering kemudian terjadi reaksi kimia yang menyebabkan semen siap untuk digunakan sebagai bahan pembuatan beton. Komposisi air nantinya juga berpengaruh pada kualitas beton yang dihasilkan. Salah satu masalah yang terjadi akibat komposisi air yang tidak tepat adalah fenomena bleeding, dimana ketika adukan beton segar dituang pada bekisting, agregat akan menggumpal pada bagian bawah bekisting karena berat jenis agregat yang lebih berat dari air dan semen, sehingga air bersama semen akan naik ke atas permukaan cetakan disebabkan oleh kandungan air yang terlalu banyak. Peristiwa bleeding akan mengakibatkan beton menjadi lemah sebab lekatan antar lapis-lapis betonnya kurang.

Adapun pengaruh air pada beton, yaitu :

1. Mempengaruhi beton pada sifat *workability*nya.
2. Mempengaruhi besar nilai susut pada beton.
3. Mempengaruhi reaksi dengan semen *portland* sehingga kekuatan yang dihasilkan dapat diperoleh dengan selang beberapa waktu.
4. Mempengaruhi pengerasan yang terjadi pada beton.

Penggunaan air pada beton bergantung pada sifat material lain yang digunakan dan juga perencanaan konstruksi yang sudah dirancang sebelumnya. Kondisi air yang digunakan pada campuran beton mempengaruhi proses pembuatan beton, air yang mengandung banyak



kotoran akan mengganggu proses pengerasan beton dan juga ketahanan beton. Pengaruh kotoran yang terkandung pada air dapat menyebabkan :

1. Gangguan yang terjadi pada pengikatan dan hidrasi.
2. Gangguan yang terjadi pada ketahanan dan kekuatan.
3. Keretakan yang dipengaruhi oleh perubahan volume.
4. Kehancuran beton yang diawali korosi pada tulangan baja.
5. Bercak-bercak pada campuran beton.

Air yang dapat digunakan dalam pembuatan beton harus memenuhi syarat tidak berbau, tidak memiliki kandungan bahan yang merusak beton, dan air minum yang tawar.

Kandungan yang dapat merusak beton seperti alkali, minyak, garam, asam, dan bahan organik lainnya yang dapat menyebabkan kerusakan pada beton ataupun tulangannya. (SNI 03-2847-2002).

Air digunakan juga untuk proses perawatan beton pasca pengecoran atau disebut sebagai proses *curing*. Syarat air yang digunakan untuk proses curing lebih tinggi daripada air yang digunakan pada campuran beton, diantaranya tingkat keasaman atau PH tidak boleh >6 dan harus mengandung kapur dengan jumlah yang sesuai.

## 2.4 Kuat Tekan Beton

Bahan campuran beton berupa air, semen, agregat halus dan agregat kasar kemudian dicetak pada bekisting dan dirawat (*curing*) selama 28 hari. Setelah proses perawatan selesai, karakteristik beton akan diukur, pengukuran meliputi kuat tekan beton (*compressive strength*). Pemeriksaan ini dilakukan guna mengetahui kekuatan tekan beton pada umur 28 hari apakah sesuai dengan yang telah disyaratkan. Pemeriksaan dilakukan dengan memberikan beban sampai pada beban maksimum bekerja, yaitu sampai benda uji runtuh.

$$f'c = \frac{P}{A} \quad \text{..... (2.1)}$$

Dengan ; P = Gaya Maksimum dari mesin tekan, kg

A = Luas penampang yang diberi tekanan, mm<sup>2</sup>

f'c = Kuat Tekan, kg/cm<sup>2</sup>

Tabel 2. 1

*Perbandingan Kekuatan Tekan Beton Pada Berbagai Umur*

Umur beton (hari)	3	7	14	21	28	90	365
Semen Portland Biasa	0,40	0,65	0,88	0,95	1,00	1,20	1,35
Semen Portland dengan Kekuatan Awal Tinggi	0,55	0,75	0,90	0,95	1,00	1,15	1,20

(Sumber : PBBI 1971)

Tabel 2. 2

*Nilai Konversi Kuat Tekan Beton*

Bentuk Benda Uji	Perbandingan
Kubus : (15 x 15 x 15) cm	1,0
(20 x 20 x 20) cm	0,95
Silinder : (15 x 30) cm	0,83

(Sumber : SNI 03-1973-1990)

**2.5 Jenis – Jenis Kerusakan pada Beton**

Kerusakan pada pelaksanaan proses konstruksi dapat terjadi meskipun sudah dilakukan dengan baik, kerusakan baik kerusakan kecil sekalipun dapat mengganggu proses pengerjaan beton. Kerusakan pada beton disebabkan oleh beberapa hal, antara lain sebab factor alam maupun adanya factor kimiawi yang tidak dapat dihindari. Pada umumnya, kerusakan yang terjadi dibagi menjadi beberapa kategori, yakni:

**1. Retak (*Cracks*)**

Retak terjadi akibat adanya faktor suhu yang leratif tinggi atau panas, juga dengan kondisi cuaca yang berangin dapat menyebabkan fenomena pecah beton yang ditandai dengan adanya garis-garis Panjang halus yang muncul di permukaan beton. Kerusakan akibat keadaan alam pada beton dengan steel structure (*reinforced concrete*) maupun *prestressed concrete* memang seringkali tidak bisa dihindari.

**2. Lubang – Lubang pada Beton (*Void*)**

Munculnya lubang-lubang yang relative dalam dan lebar pada beton bertulang disebut dengan *voids*. Adanya *voids* disebabkan oleh proses pemadatan beton dengan vibrator yang kurang maksimal akibat terlalu sempitnya jarak bekisting dengan



tulangan baja. Penyebab lainnya adalah tidak adanya ruang cukup untuk mortar mengisi bagian antar tulangan pada beton.

### **3. Kelupasan dangkal pada Permukaan (*Scalling/ Erosion/ Spalling*)**

*Scalling* pada beton merupakan kerusakan yang disebabkan oleh eksposisi pada pembekuan juga pencairan beton yang terjadi secara berulang. Adapun penyebab lain dari permukaan beton yang terkelupas adalah adanya material yang melekat di bekisting pada saat sebelum dilakukan pengecoran.

### **4. Lekatan Baja Beton**

Kegagalan letakan antara baja tulangan dan beton menjadi salah satu kegagalan yang sering terjadi pada konstruksi beton. Kegagalan keletakan baja tulangan dan beton sering terjadi pada komponen struktur penunjang bangunan sipil. Kelekatan dipengaruhi oleh kondisi baja tulangan, dimana tingkat kekasaran baja akan mempengaruhi tingkat kelekatan, juga kualitas beton yang berapa di sekitar baja tulangan juga memiliki pengaruh yang besar pada tingkat kelekatan. Apabila kelekatan baja dan beton kurang sempurna terjadi, akan berakibat pada menurunnya daya dukung struktur, yang kemudian bisa menyebabkan deformasi pada bagian struktur. Deformasi yang tidak terkendali akan menyebabkan keruntuhan pada konstruksi tersebut. Terlalu tipisnya selimut beton juga bisa menyebabkan terjadinya kegagalan ini.

## **2.6 Retak pada Beton**

Keretakan pada beton merupakan informasi yang penting untuk mengidentifikasi kekuatan yang dimiliki oleh struktur beton bertulang. Sebelum tulangan baja luh, keberadaan keretakan pada beton merupakan mekanisme kegagalan struktural yang terbaik pada struktur beton bertulang karena kegagalannya bersifat daktail atau *under reinforcement*. Keretakan merupakan peringatan dini oleh struktur agar kekuatan struktur dapat segera dievaluasi untuk menentukan perbaikan tulangan pada struktur.

### **2.6.1 Jenis-Jenis Keretakan pada Beton dan Penyebabnya**

Alasan pembentukan keretakan yang terjadi pada beton sangat kompleks dan memiliki kondisi yang berbeda-beda di struktur yang berbeda. Berdasarkan investigasi di lapangan dan pengumpulan data, keretakan pada terdiri dari retak temperatur, retak susut, retak penurunan, retak beban, dan retak konstruksi.

#### **1. Retak Susut (*Shrinkage Cracks*)**

Retak susut terdiri dari 2 tipe antara lain retak susut kering (*Dry Shrinkage Crack*) dan retak susut plastis (*Plastic Shrinkage Crack*). Retak susut kering disebabkan oleh berbagai

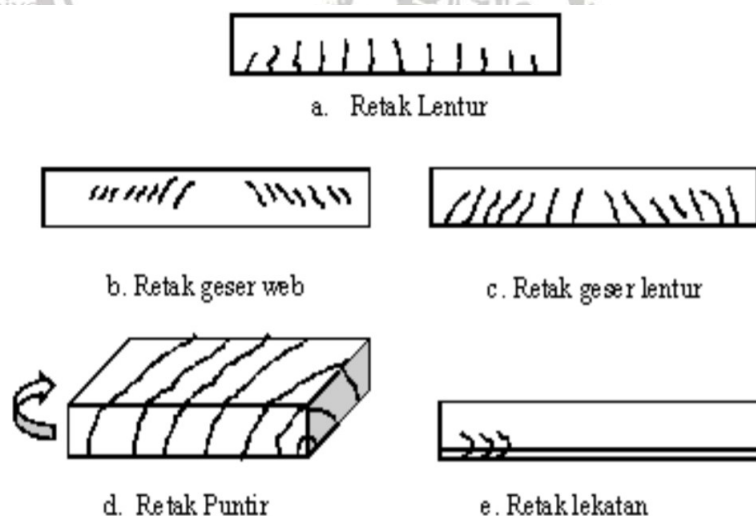
tingkat penguapan air yang ada di dalam dan luar beton. Keretakan ini biasanya berbentuk garis rambut yang tidak beraturan pada komponen permukaan atau berupa retak tipis di kedua ujung sisi permukaan dan lebar di bagian tengah. (sering diantara tulangan ataupun sejajar dengan tulangan). Retak susut plastis disebabkan oleh tegangan susut susut yang melebihi kuat tarik maksimum beton akibat tingginya suhu atau kekuatan angin yang besar. Retak susut kering dan retak susut plastis sering terjadi sebelum pemadatan akhir beton.

## 2. Retak Temperatur (*Temperature Cracks*)

Retak temperatur sering ditemui pada struktur beton massa dan retakan seringkali lebih dalam atau bahkan menembus sehingga dapat menyebabkan kerusakan besar pada keseluruhan struktur. Arah retak tegak lurus terhadap sisi panjang struktur dan retakan dapat muncul di sepanjang penampang. Lebar retakan dipengaruhi oleh perubahan suhu dimana retakan akan melebar pada musim dingin dan akan menyempit pada musim panas.

## 3. Retak Beban (*Load Cracks*)

Retak ini merupakan penyebab retak yang paling kompleks dan umum terjadi pada struktur beton. Karakteristik retak bergantung pada variasi beban yang bekerja pada struktur. Secara teoritis, tegangan tarik, tekan, lentur, geser dan punter dapat menghasilkan bentuk retak namun yang sering ditemui di lapangan ada zona tarik, tekan, lentur, geser dan beban siklik yang terjadi pada struktur beton.



Gambar 2. 1 Pola Retak Beban; (a) Retak Lentur; (b) Retak Geser Web; (c) Retak Geser Lentur; (d) Retak Puntir; (e) Retak Lekatan

Sumber : Amelia Chelcea, 2017

Pada gambar diatas, terdapat 5 pola retak yang disebabkan oleh beban yang bekerja pada struktur. Masing-masing pola retak yang dihasilkan pada gambar memiliki penyebab yang



berbeda-beda. Pola retak lentur terjadi akibat terjadinya nilai momen lentur maksimal yang terjadi pada beton yang mengalami gaya geser yang kecil, sehingga arah retaknya berupa garis-garis yang hampir tegak lurus sumbu. Selanjutnya retak geser web dan pola retak geser lentur yang masing-masing terjadi akibat terjadinya gaya geser maksimum dan perambatan dari retak miring yang sudah terjadi sebelumnya pada beton. Adapun pola retak punter akibat adanya gaya geser maksimum yang terjadi pada beton dengan arah retakan melingkar di sekeliling balok. Yang terakhir yaitu retakan yang terjadi pada area sekitar tulangan yang disebut dengan pola retak lekatan. Hal ini terjadi akibat kemampuan awal tulangan melawan beton, terjadi perpindahan pada tulangan di dalam beton dimana terjadi *interlocking* dan menghasilkan retak radial, tegangan lekat dan kekakuan beton ditahan oleh ulir tulangan di sepanjang penyaluran gaya di dalam beton.

#### 4. Retak Konstruksi (*Construction Cracks*)

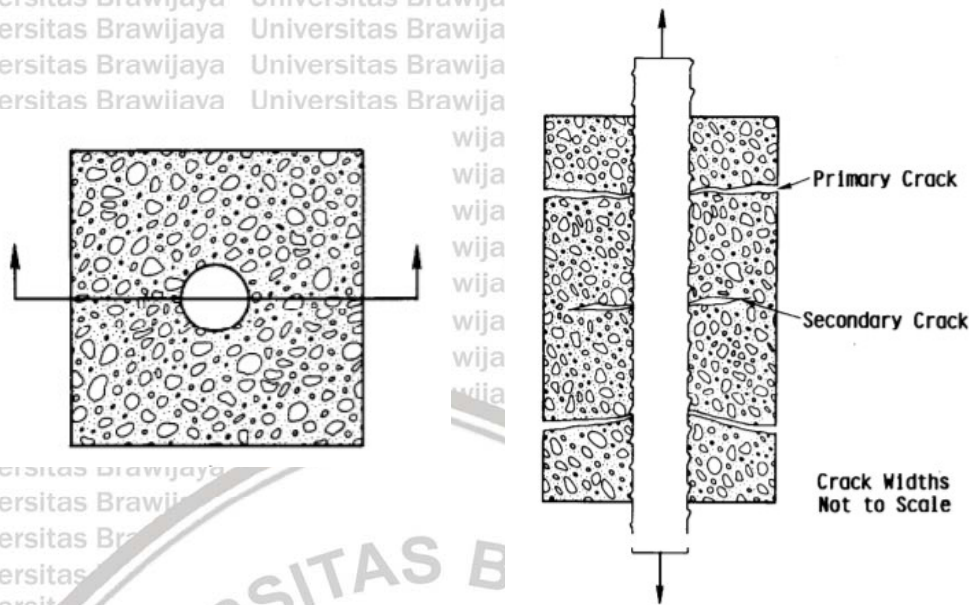
Retak konstruksi disebabkan oleh kesalahan sistem teknologi konstruksi atau kualitas konstruksi yang buruk pada saat proses penuangan, pembuatan, dukungan bekisting, pengangkutan, pengangkatan, dan kegiatan konstruksi lainnya. Bentuk dan perkembangan retakan bervariasi sesuai dengan faktor konstruksi yang tidak tepat, seperti retak dangkal (*Shallow Crack*) mudah disebabkan oleh perawatan awal beton yang tidak tepat. Retak tegak lurus terhadap tulangan baja pada beton disebabkan oleh polusi permukaan, lapisan pelindung yang terlalu kecil atau terlalu besar. Kurangnya kekakuan bekisting selama konstruksi menyebabkan deformasi sehingga dapat membentuk retakan sesuai dengan deformasi cetakan.

#### 5. Retak Penurunan (*Settlement Cracks*)

Retak penurunan ini merupakan retak yang disebabkan oleh penurunan pondasi yang tidak merata dan memiliki bentuk yang beragam. Pola retak dibagi menjadi retak lentur dan geser tergantung pada bentuk tegangannya. Retak penurunan sering terjadi pada bagian bawah bangunan dan retak bagian bawah lebih besar daripada bagian atas.

#### 2.6.2 Jarak Retak

Sebagai akibat dari pembentukan retakan pada batang tarik, pola tegang baru akan muncul diantara keretakan yang terjadi. Pembentukan retak primer selanjutnya akan berlanjut seiring dengan meningkatnya tegangan yang terjadi. Adapun jarak antar retak primer biasanya setara dengan 2 kali jarak antara tulangan beton ke selimut beton.



Gambar 2. 2 Retak primer dan sekunder pada akibat batang tarik beton bertulang

Nilai jarak retak maksimum adalah sekitar 2 kali jarak retak rata-rata. Artinya jarak retak maksimum sama dengan sekitar 4 kali tebal selimut beton. Hal ini menjadi syarat agar tidak terjadi retak sekunder diantara retak primer yang akan menyebabkan berkurangnya tegangan batang tarik lokal pada struktur beton bertulang.

### 2.6.3 Lebar Retak

Lebar retak sangat diperhitungkan pada struktur beton. Karena kehadiran retak dengan lebar yang melebihi batas toleransi dapat menyebabkan masalah yang serius pada struktur. Pelebaran keretakan pada beton dipengaruhi oleh beberapa variable, seperti perilaku retak. Untuk mengetahui lebar retak maksimum pada beton digunakan persamaan Gergely-lutz berikut.

$$w_{maks} = 0,076 \beta f_s \sqrt[3]{d_c A} \quad (2.2)$$

Dengan :

- $w_{maks}$  = lebar retak (inci)
- $\beta$  = Faktor kedalaman (Nilai rata-rata = 1,2)
- $d_c$  = Tebal selimut beton (inci)
- $f_s$  = Tegangan maksimum (ksi) dalam baja pada saat tingkat beban layan (0,6  $f_y$  digunakan jika tidak ada perhitungan yang tersedia)
- $A$  = Luasan beton dalam tarik dibagi dengan jumlah batang-batang pada sisi tarik



Tabel 2.3

*Lebar-Lebar Retak yang Dapat Ditoleransi*

Kondisi Keterbukaan	Lebar Retak yang Dapat di Toleransi	
	inci	mm
Udara kering atau membran pelindung	0,016	0,41
Kelembapan, udara lembab, tanah	0,012	0,3
Bahan-bahan kimia peleleh es	0,007	0,18
Air laut dan percikan air laut; pembasahan atau pengeringan	0,006	0,15
Struktur penahan air (tak termasuk pipa tak bertekanan)	0,004	0,10

Sumber : ACI Committee 224

**2.6.4 Kedalaman Retak**

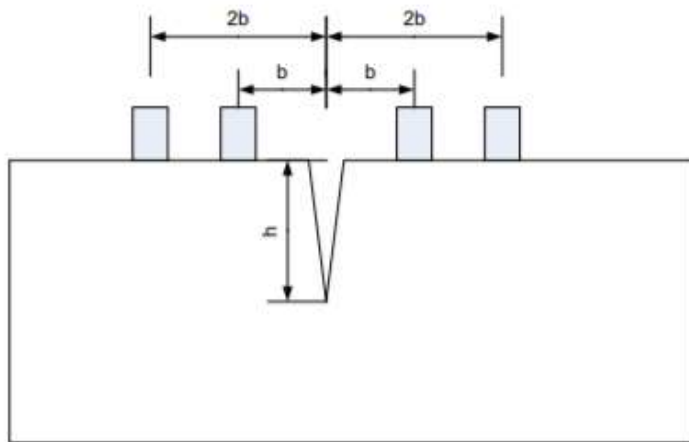
Pengujian UPV (*Ultrasonic Pulse Velocity*) digunakan untuk mengidentifikasi kedalaman retak yang terjadi pada beton, atau dalam penelitian ini adalah pada benda uji. Identifikasi kedalaman retak pada benda uji tersebut akan menggunakan alat PUNDIT PL-200. Konsep dari pengujian menggunakan UPV ini adalah dengan memanfaatkan sifat rambat gelombang yang nantinya akan didapat berupa data waktu transmisi gelombang antara transmitter dan receiver yang diletakkan pada satu bidang benda uji yang sama. Metode tersebut adalah metode tidak langsung atau *indirect method*. Ketika gelombang melewati garis keretakan maka akan terjadi loncatan waktu transmisi gelombang pada saat pembacaan berlangsung. Untuk mengetahui kedalaman retak pada struktur beton dilakukan dengan menggunakan metode *British Standard 1881* (BS 1881) yang merupakan standar perhitungan yang digunakan pada PUNDIT PL-200. Namun dapat menggunakan metode lain seperti *Delta Method* dan *L-L Method* dengan mencari waktu transmisi gelombang pada permukaan beton yang sama dan tidak mengalami retak. Dalam mencari

waktu transmisi gelombang tersebut digunakan fitur '*transmission time*' yang terdapat pada

PUNDIT PL-200.

#### 2.6.4.1 *British Standard 1881 (BS 1881)*

Pengujian kedalaman retak pada beton menggunakan metode *British Standard 1881* dilakukan dengan pengukuran terhadap waktu transit gelombang ultrasonic yang dialirkan dan direkam oleh dua transducer dan transmitter yang diletakkan menyebrangi area retakan di permukaan beton seperti diilustrasikan pada Gambar 2.3 berikut :



Gambar 2. 3 Estimasi Kedalaman Retak dengan Metode BS 1881

Sumber : Fajar Surya Herlambang & Evin Yudhi Setyono, 2017

Pengukuran dilakukan dengan 2 tahap untuk mencari selisih waktu transit yang kemudian disebut dengan waktu transit 1 ( $T_1$ ) dan waktu transit 2 ( $T_2$ ).  $T_1$  diukur dengan meletakkan *transmitter* dan *transducer* masing-masing berjarak yang sama dari titik retakan yang terjadi, atau dalam persamaan disebut sebagai jarak  $b$  di sisi kanan dan kiri retakan (*transmitter* dan *transducer* diletakkan saling menyebrangi retakan).  $T_2$  diukur dengan metode yang sama tetapi dengan jarak  $b$  diubah menjadi 2 kali jarak semula, sehingga dinyatakan sebagai  $2b$ . Hasil pengujian didapat nilai  $T_1$  dan  $T_2$  yang kemudian digunakan untuk analisis kedalaman retak beton uji dengan menggunakan persamaan 2.3.

$$h = b \sqrt{\frac{4T_1^2 - T_2^2}{T_2^2 - T_1^2}} \dots\dots\dots (2.3)$$



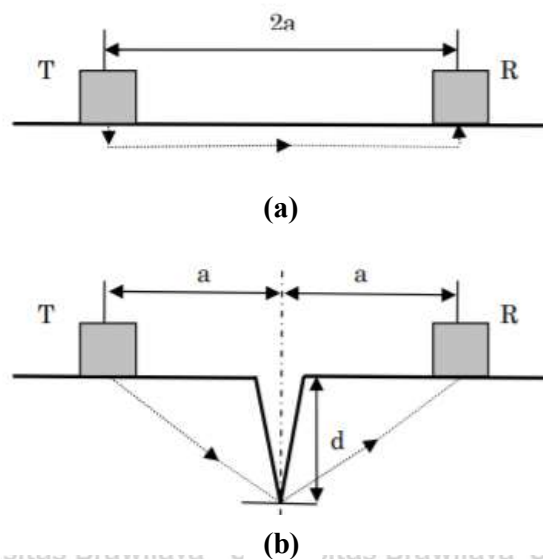
- Dengan :
- $b$  = Jarak antara *transducer* ke retakan, cm
  - $T_1$  = Waktu yang ditempuh gelombang saat jarak  $b$ ,  $\mu s$
  - $T_2$  = Waktu yang ditempuh gelombang saat jarak  $2b$ ,  $\mu s$

#### 2.6.4.2 Metode L-L (*L-L Method*)

Pada metode ini, waktu transmisi gelombang yang menjadi standar perhitungan. *Transmitter* dan Receiver diatur untuk mengukur waktu transmisi gelombang pada permukaan beton yang tidak mengalami retak dengan jarak  $2a$  ( $t_0$ ) dan pada permukaan beton yang mengalami retak dengan jarak  $2a$  ( $t_c$ ) dimana garis retak berada di tengah-tengah antara kedua transduser. Kedalaman retak dapat ditentukan melalui persamaan berikut.

$$d = a \sqrt{\left(\frac{t_c}{t_0}\right)^2 - 1} \dots\dots\dots (2.4)$$

- Dengan :
- $d$  = Kedalaman retak, cm
  - $a$  = Jarak kedua transduser terhadap garis retak, cm
  - $t_0$  = Waktu yang ditempuh gelombang saat jarak  $2a$  di permukaan beton yang tidak mengalami retak,  $\mu s$
  - $t_c$  = Waktu yang ditempuh gelombang saat jarak  $2a$  di permukaan beton yang mengalami retak,  $\mu s$



Gambar 2. 4 Metode L-L; (a) Permukaan Beton yang Tidak Mengalami Retak; (b) Permukaan Beton yang Mengalami Retak

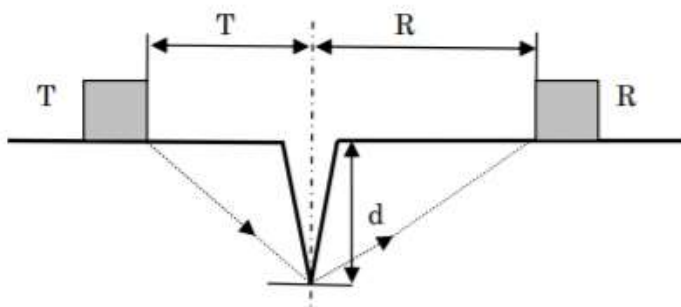
### 2.6.4.3 Metode Delta (*Delta Method*)

Metode delta pada dasarnya hampir sama dengan metode L-L karena waktu transmisi gelombang yang diukur juga bergantung pada penempatan transduser pada permukaan beton yang sehat dan yang mengalami retak. Kedalaman retak dengan metode delta ditentukan melalui persamaan berikut dengan asumsi jarak *transmitter* dan *receiver* terhadap garis retak adalah sama.

$$d = \sqrt{\left(\frac{1}{2}V \cdot t\right)^2 - T^2} \dots\dots\dots(2.5)$$

$$V = \frac{2T}{t_0} \dots\dots\dots(2.6)$$

- Dengan :
- d = Kedalaman retak, cm
  - V = Kecepatan rambat gelombang pada permukaan beton yang sehat, cm/ $\mu$ s
  - t = Waktu transmisi gelombang pada permukaan beton yang retak,  $\mu$ s
  - T = Jarak perletakan *transmitter* terhadap garis retak, cm
  - $t_0$  = Waktu transmisi gelombang pada permukaan beton yang sehat,  $\mu$ s



Gambar 2. 5 Metode Delta

### 2.7 Metode Pengujian Beton

Beton merupakan bagian dari teknik sipil yang kerap mengalami perkembangan. Beton yang berkualitas harus memiliki spesifikasi struktur yang sesuai agar dapat memastikan kekuatan struktur dalam keadaan stabil sehingga perlu dilakukan verifikasi terhadap hal tersebut dengan melakukan pengujian terhadap struktur beton itu sendiri. Pengujian terhadap beton dapat dilakukan dengan metode *Non Destructive Test* yang bersifat tidak merusak dan metode *Destructive Test* yang bersifat merusak beton yang diuji.



### 2.7.1 Non Destructive Test (NDT)

*Non Destructive Test* (NDT) adalah salah satu metode pengujian yang dilakukan terhadap material tanpa merusak material yang diuji. Dilakukannya pengujian ini agar material yang digunakan tetap aman untuk digunakan tanpa mengalami kerusakan. Pengujian NDT setidaknya dilakukan sebanyak 2 kali, saat proses fabrikasi guna mengontrol mutu struktur atau material dan saat struktur telah digunakan dalam jangka waktu tertentu guna mendeteksi kerusakan pada struktur yang diuji.

Terdapat manfaat dalam penggunaan NDT, diantaranya (International Atomic Energy Agency, 2018) :

- Memperkaya informasi terkait keamanan dan kemampuan struktur selama beroperasi.
- Menghemat bahan dengan mempertahankan kualitas bahan tersebut, tenaga kerja dan energi sehingga dapat mengurangi biaya produk yang diperlukan.
- Mempertahankan kualitas barang sehingga dapat meningkatkan reputasi produsen yang memproduksi barang tersebut.
- Memungkinkan desain produk baru.

Pengujian NDT terdiri dari 2 macam berdasarkan kerusakan pada material, diantaranya *Inside Crack* dan *Surface Crack*. Sebelum pengujian berlangsung, target pengujian kesalahan harus sudah ditentukan seperti *Inside Crack* atau *Surface Crack*. Setelah penentuan target pengujian selesai dilakukan maka dapat dilakukan pengujian NDT.

Terdapat beberapa penggunaan metode *Inside Crack* dalam pengujian NDT, diantaranya:

#### a. *Radiography*

*Radiography* merupakan salah satu metode pengujian guna memperoleh gambaran pada bagian dalam material yang diuji dengan menggunakan bantuan sinar-x. Pengujiannya memiliki konsep yang sama dengan penggunaan sinar-x dan sinar-y pada tubuh yang manusia namun yang berbeda adalah panjang gelombang yang digunakan lebih pendek.

#### b. *Ultrasonic*

*Ultrasonic* merupakan salah satu metode pengujian untuk memperoleh gambaran kerusakan yang terjadi pada material yang diuji dengan bantuan gelombang *ultrasonic* dengan frekuensi berkisar antara 0,1 – 15 Mhz. Konsep pengujian ini dengan

menyalurkan gelombang pada material yang diuji dan nantinya gelombang akan diterima disisi yang lain.

**c. Acoustic Emmision**

*Acoustic Emmision* merupakan salah satu metode pengujian yang hampir sama dengan *ultrasonic*. Namun yang membedakan hanya pada frekuensi gelombang disalurkan berkisar 100 Khz – 1 Mhz.

Terdapat beberapa penggunaan metode *Surface Crack* dalam pengujian NDT, diantaranya :

**a. Visual Inspection Optical**

*Visual Inspection* merupakan salah satu metode pengujian untuk menemukan cacat pada permukaan objek yang diuji dengan bantuan *optical*. Dan metode pengujian ini biasanya menjadi langkah awal yang dilakukan dalam jasa NDT.

**b. Liquid Penetrant**

*Liquid Penetrant* merupakan salah satu metode pengujian untuk menemukan kerusakan pada material logam maupun non-logam dengan menyemprotkan cairan berwarna terang. Cairan yang digunakan pada metode pengujian ini harus memiliki viskositas yang rendah dan tingkat penetrasi yang baik sehingga dapat masuk pada permukaan material dengan mudah. Dan setelah cairan dibersihkan, kerusakan akan terlihat dengan jelas dari perbedaan warna latar belakang yang cukup kontras.

**c. Magnetic Particles**

Pengujian dengan metode *magnetic particles*, benda uji akan ditaburkan serbuk magnetik pada permukaannya. Ketika terjadi keretakan atau kerusakan pada permukaan benda uji, serbuk magnetik tersebut akan menunjukkan indikasi kebocoran pada sekitar area kerusakan, sehingga akan mudah diidentifikasi dengan mata. Akibat dari pengujian menggunakan metode ini adalah benda uji yang sudah ditaburi oleh serbuk magnet akan bersifat magnetik, sehingga untuk menghilangkan sifat tersebut perlu dilakukan perbersihan serbuk magnetik. Proses untuk menghilangkan sifat magnetik tersebut disebut dengan metode demagnetization, yaitu rangkaian proses untuk menghilangkan medan magnet dari sebuah benda. Salah satu contoh metode demagnetization adalah hammering (benda uji akan dipukul dengan palu atau hammer, sehingga timbul getaran untuk melepaskan partikel magnet yang menempel). Metode

*Magnetic Particles* memiliki kelemahan diantaranya metode ini hanya bisa diterapkan



untuk material ferromagnetik, dan medan magnet yang digunakan harus tegak lurus atau memotong daerah crack.

#### d. *Eddy Current*

Metode *Eddy Current* memiliki prinsip yang hampir sama dengan metode magnetic particles, akan tetapi metode ini menggunakan medan listrik yang dipancarkan dari arus listrik AC (Bolak-balik). ketika terjadi kerusakan atau crack akan terjadi perubahan medan listrik yang kemudian akan terdeteksi pada alat ukur impedance. Prinsip pada metode ini sangat erat dengan impedansi, hasil pengujian dari *Eddy Current* akan sangat dipengaruhi oleh jarak alat ukur dengan benda uji atau materialnya. Hal ini yang menjadi kelemahan atau keterbatasan dari metode *Eddy Current* dimana hanya dapat diterapkan dengan jarak/jangkauan tertentu dan harus pada material logam.

### 2.7.2 Destructive Test (DT)

*Destructive testing* atau pengujian dengan cara merusak alat uji adalah salah satu metode pengujian dengan memberikan beban tekan, tarik ataupun lengkung pada benda uji hingga benda uji hancur. Tujuan dari destructive testing yaitu untuk mengetahui ketahanan suatu benda uji akan tekan, tarik dan lengkung agar didapatkan kualitas beton yang sesuai dengan perencanaan yang sudah dibuat sebelumnya. Beberapa pengujian *Destructive testing* yang biasa dilakukan antara lain :

#### a. Pengujian Tekan (*Compressed Tester*)

Pada pengujian ini kekuatan tekan dari material harus lebih besar, sehingga pada saat pengujian material akan ditekan hingga hancur. Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mengetahui seberapa kuat material jika ditekan nantinya. Cara pengujiannya yaitu dengan menekan material dengan mesin yang gaya tekannya lebih besar hingga hancur.

#### b. Pengujian Bengkok (*Bending Tester*)

Uji bengkok ini merupakan alat uji yang sudah lama dipakai untuk industri. Uji bengkok ini bertujuan untuk mengetahui apakah daya kekuatan material jika dibengkokkan akan bertahan lama atau tidak dan biasanya digunakan untuk mengetes hasil dari pengelasan.

Cara kerjanya yaitu dengan menekan bagian samping material hingga bengkok sehingga menjadi lipetan dan hancur.

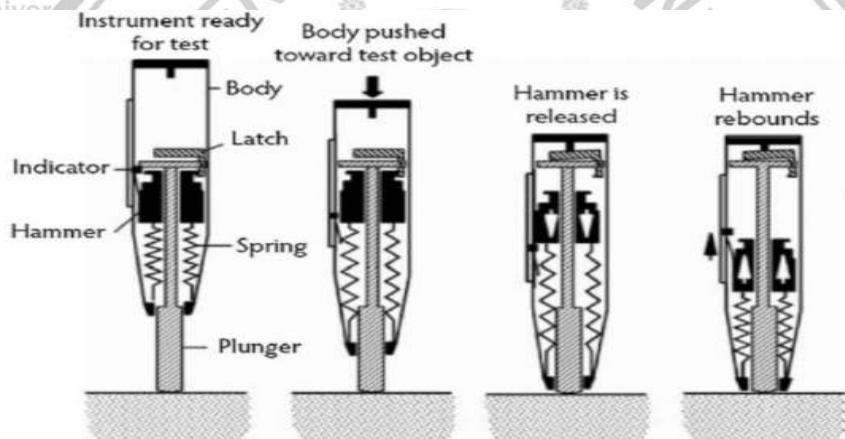
#### c. Pengujian Kekerasan (*Hardness Tester*)

Pengujian kekerasan yaitu digunakan untuk mengetahui seberapa keras material tersebut biasanya yang diuji cobakan yaitu material yang terbuat dari logam. Cara kerja

pengujian ini yaitu dengan menekan satu titik di material hingga menembus lapisan material sehingga mesin dari hardness tester ini dapat mengetahui seberapa keras dari material tersebut.

## 2.8 Rebound Hammer Test

*Rebound Hammer Test* adalah metode pengujian untuk mengukur tingkat kekerasan beton dengan menggunakan prinsip pantulan (*rebound*). Pengujian ini dikembangkan oleh Ersnt Schmidt pada tahun 1948. Alat yang dipakai pada metode pengujian ini adalah *Rebound Schmidt Hammer*. Alat *Rebound Schmidt Hammer* memiliki prinsip kerja dengan melontarkan pemukul (*Hammer*) pada benda uji dan setelah pemukul mengenai permukaan keras, pemukul akan memantul dan besaran pantulan yang dihasilkan yang digunakan menjadi ukuran kekerasan pada permukaan benda uji. Bacaan nilai pantulan ini akan dikonversikan dengan skala tertentu menjadi kuat tekan.



Gambar 2. 6 Mekanisme Kerja dari Rebound Hammer Test

Sumber : [www.eticon.co.id](http://www.eticon.co.id)

## 2.9 Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)

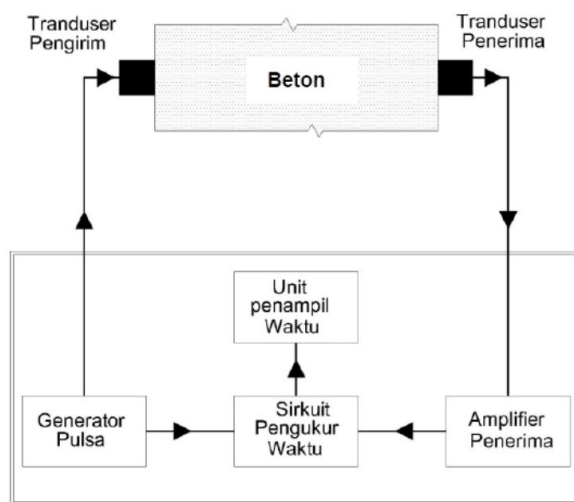
UPV (Ultrasonic Pulse Velocity) adalah salah satu pengujian yang dapat dilakukan guna mengidentifikasi mutu beton dengan cara tidak merusak (*non destructive*) menggunakan konsep perambatan gelombang ultrasonic yang dialirkan pada permukaan benda uji beton. Pengujian UPV didasarkan pada sifat gelombang yang merambat melalui medium padat dengan waktut tempuh tertentu, sehingga dengan pengujian ini dapat kemudian diidentifikasi lebih jauh mengenai kedalaman retak yang terjadi pada benda uji. Pengaliran gelombang dilakukan dari *transmitter* kemudian akan ditangkap oleh *transducer* dalam satuan waktu yang diukur oleh *Read-out unit PUNDIT (Portable Unit Non Indicator Tester)* berupa satuan  $\mu s$ .



### 2.9.1 Komponen Utama Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)

Alat uji UPV terdiri atas komponen-komponen utama, seperti digambar 2.7 :

- Generator gelombang, sebagai penghasil gelombang ultrasonic yang akan dialirkan oleh transmitter menuju transducer. Generator gelombang berisi sirkuit penghasil gelombang ultrasonic.
- Transmitter, yaitu transducer pengirim yang mengalirkan gelombang ultrasonic ke transducer penerima.
- Transduser penerima, penerima gelombang ultrasonic
- Pengukur waktu, sebagai pencatat waktu tempuh gelombang ultrasonic yang merambat dari transmitter ke transducer.
- Osiloskop, merupakan display tambahan yang digunakan sebagai pemantau sifat osilasi gelombang rambat.



Gambar 2. 7 Diagram Skematik dari Instrument UPV

Sumber : SNI ASTM C597 : 2012

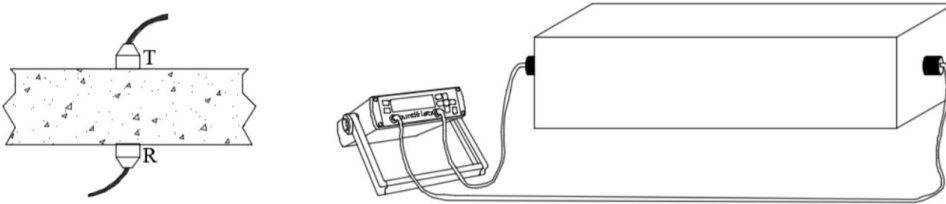
### 2.9.2 Metode Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)

Metode pengujian UPV ada 3 metode yaitu:

#### a. Direct Method (Metode Langsung)

Metode langsung merupakan metode yang digunakan dengan meletakkan kedua transduser saling berhadapan pada permukaan yang berbeda. Jarak antara transmitter dan receiver menjadi dasaran pengukuran panjang lintasan gelombang. Dibandingkan metode lainnya, metode langsung menghasilkan transmisi energi gelombang yang lebih

besar. Metoda *direct*, pada umumnya digunakan untuk mengetahui kuat tekan dan modulus elastisitas dinamis.

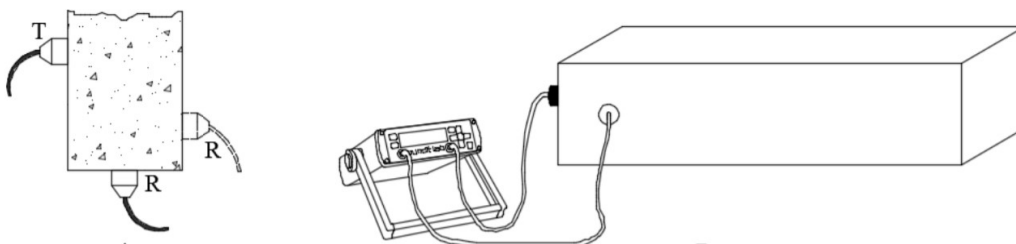


Gambar 2. 8 Penggunaan Alat UPVT dengan Metode Direct (Langsung)

Sumber : M. Andi, 2019

#### b. Semi Direct Method (Metode Semi Langsung)

Metode semi langsung merupakan metode yang digunakan dengan meletakkan kedua transduser saling tegak lurus pada permukaan yang berbeda. Jarak miring antara *transmitter* dan *receiver* dapat diketahui dari panjang lintasan gelombang ultrasonik. Namun, hasil yang diperoleh menggunakan metode langsung lebih akurat dibandingkan menggunakan metode semi langsung, akan tetapi masih dapat memperoleh hasil yang baik apabila jarak perletakan antara transmitter dan receiver tidak terlalu jauh. Metode ini biasanya digunakan pada situasi dimana kondisi geometris struktur menghalangi pengujian dengan metode langsung.



Gambar 2. 9 Penggunaan Alat UPVT dengan Metode Semi Direct (Semi Langsung)

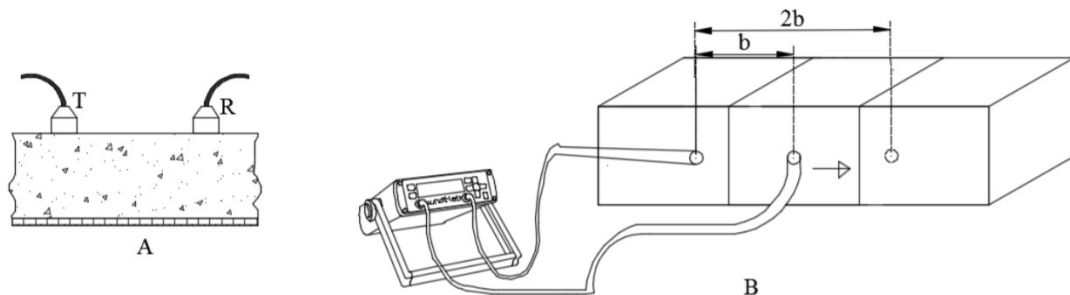
Sumber : M. Andi, 2019

#### c. Indirect Method (Metode Tidak Langsung)

Metode yang sering digunakan di lapangan yaitu metode tidak langsung. Metode ini sering digunakan karena keterbatasan posisi ruang untuk mengukur beton, sehingga hanya salah satu sisi beton yang dapat digunakan untuk pengujian UPV. Metode tidak langsung merupakan metode yang digunakan dengan meletakkan kedua transduser pada permukaan yang sama secara sejajar. Panjang lintasan gelombang ultrasonik dapat diukur berdasarkan jarak antara transmitter dan receiver. Metode ini biasanya digunakan



untuk mengidentifikasi kedalaman retak yang terjadi pada struktur beton sebagai akibat dari beban internal maupun eksternal.



Gambar 2.10 Penggunaan Alat UPVT dengan Metode Indirect (Tidak Langsung)

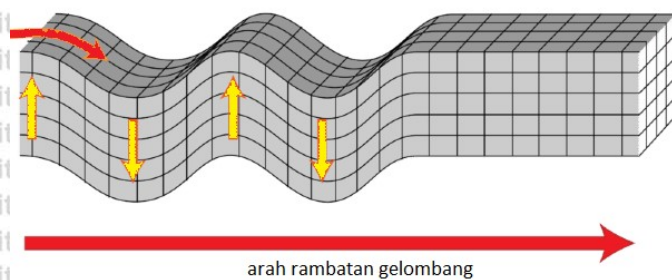
Sumber : M. Andi, 2019

### 2.9.3 Gelombang Mekanik

Gelombang mekanik dapat menyalurkan energi apabila terdapat medium dalam perambatannya. Medium perambatan gelombang mekanik dapat melalui gas, udara, air dan lain sebagainya. Ketika suatu permukaan dari media padat elastis yang besar diberikan beban dinamis maupun getaran, maka akan muncul tiga jenis gelombang mekanis, yaitu :

#### 1. Gelombang Transversal (*shear waves* atau *S-waves*)

S-waves merupakan gelombang yang terjadi setelah gelombang primer. Pada gelombang ini terjadi tegangan geser karena partikel bergerak secara tegak lurus terhadap arah rambat, karena itu pergerakan dari gelombang ini dibagi menjadi pergerakan horizontal dan pergerakan vertikal.

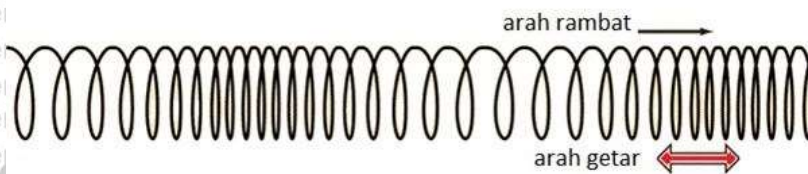


Gambar 2.11 Perambatan partikel pada gelombang S-Waves

Sumber : [www.studiobelajar.com](http://www.studiobelajar.com)

## 2. Gelombang longitudinal atau kompresi (*P-waves* atau *compressional waves*)

Pada gelombang ini arah getaran partikel akan maju dan mundur sehingga material yang dilewati gelombang sebagai medium perambatannya akan mengalami tekanan dan regangan seperti spiral. Gelombang ini dapat merambat melalui segala jenis medium baik itu padat, cair, maupun gas. Gelombang ini memiliki kecepatan rambat yang paling cepat diantara yang lainnya, tetapi amplitudonya paling kecil di antara gelombang-gelombang lainnya.



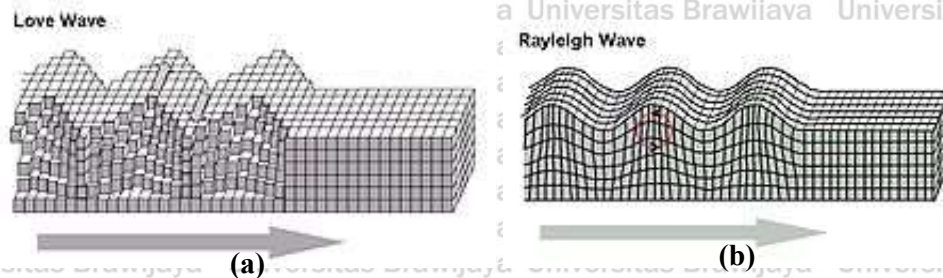
Gambar 2. 12 Perambatan Partikel pada Gelombang P-Waves

Sumber : [www.studiobelajar.com](http://www.studiobelajar.com)

## 3. Gelombang Permukaan (*surface waves*)

Surface waves adalah gelombang yang merambat melalui permukaan dan semakin mengecil jika semakin menjauhi permukaan. Gelombang permukaan merambat lebih rendah dari gelombang P-waves dan S-waves, tetapi memiliki amplitude yang lebih besar. Gelombang permukaan terdiri dari *Loves waves* dan *Rayleigh waves*. *Love waves* adalah gelombang yang arah gerak partikelnya tegak lurus arah rambatnya (transversal), tetapi hanya terjadi di permukaan. Sedangkan *Rayleigh waves* memiliki gerakan partikel eliptik retrogen atau arah geraknya searah dengan arah rambatnya.

Pergerakannya seperti menggulung medium yang dilalui dan terlihat seperti gerakan gelombang air laut.



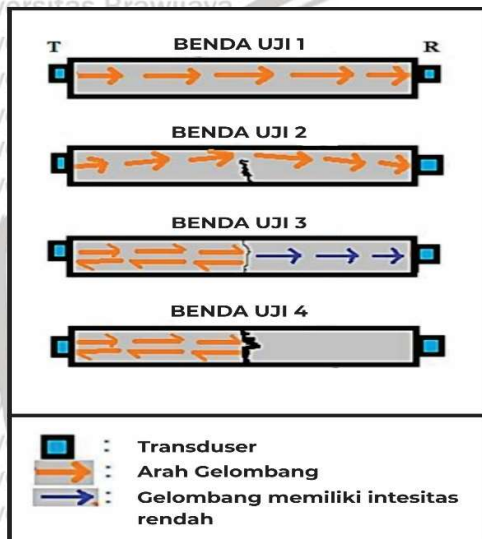
Gambar 2. 13 Perambatan Partikel pada Gelombang Surface Waves (a) Gelombang Love (b) Gelombang Rayleigh.

Sumber : [id.wikipedia.org](http://id.wikipedia.org)



## 2.10 Hubungan Antara Keretakan dengan *Ultrasonic Pulse Velocity Test (UPVT)*

Dari banyak percobaan dan laporan telah menunjukkan bahwa jenis agregat, kadar air, usia beton, rasio air terhadap semen, panjang jalur suara, diskontinuitas, cacat, rongga, porositas, dan retakan merupakan faktor yang mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik dalam beton. Studi yang dilakukan R. Jones dan I. Facaoaru telah menunjukkan bahwa jenis, jumlah, bentuk, volume dan proporsi campuran agregat sangat mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik dalam beton. Menurut J. H. Bungey, kecepatan, intensitas, dan arah gelombang ultrasonik dalam beton akan berubah ketika terdapat keretakan pada beton seperti yang ditunjukkan pada gambar 2.14.



Gambar 2. 14 Pergerakan Gelombang Ultrasonik pada Kondisi Normal dan Retak

Sumber : Mehmet Emin Uyanik, 2019

Dapat dilihat pada gambar 2.13, benda uji 1 merupakan beton normal tanpa retak dimana gelombang ultrasonik yang ditransmisikan melalui benda uji dapat merambat dengan baik dengan jalur terpendek menuju *receiver*. Benda uji 2 merupakan beton dengan keretakan dangkal (*Shallow Crack*) dimana kehadiran retakan menurunkan kecepatan gelombang ultrasonik dan meningkatkan waktu transisi antara transduser. Benda uji 3 merupakan beton dengan keretakan sempit (*Narrow Crack*) dimana sebagian dari energi ultrasonik dipantulkan kembali menuju *transmitter* dan sebagian yang lain dapat ditransmisikan menuju *receiver* namun gelombang kehilangan amplitudo dan kecepatan gelombangnya. Benda uji 4 merupakan beton dengan keretakan yang lebar (*Wide Crack*) dimana gelombang ultrasonik yang ditransmisikan secara total dipantulkan kembali menuju *transmitter* sehingga gelombang ultrasonik tidak dapat diterima oleh *receiver*.

## 2.11 Peneliti Terdahulu

Salah satu referensi untuk melakukan penelitian ini adalah dengan adanya kekurangan dan kelebihan dari penelitian-penelitian dengan topik yang mirip/sama yang sudah dilakukan pada tahun-tahun sebelumnya. Adanya tuntutan atas pengembangan dari penelitian sebelumnya juga menjadi salah satu alasan dilaksanakannya penelitian ini. Berikut adalah beberapa penelitian mengenai pengujian keretakan beton terdahulu yang menjadi bahan referensi dan pembelajaran untuk menyusun penelitian ini.

Tabel 2. 4

Penelitian Terdahulu

No.	Nama Peneliti Tahun	Judul Penelitian	Hasil Penelitian
1	Teguh Dwi Saputra, Sugeng P. Budio, Indra Waluyohadi (2017)	Investigasi Rongga Dan Kedalaman Retak Pada Balok Beton Dengan UPE Dan UPV	<ol style="list-style-type: none"> <li>alat UPE dapat secara akurat dan konsisten dalam melakukan pembacaan rongga di dalam beton. Adapun hal-hal yang dapat memengaruhi hasil pembacaan alat UPE adalah faktor human <i>error</i> dan juga inhomogenitas dalam beton.</li> <li>alat UPV dapat secara akurat dan konsisten dalam melakukan pembacaan kedalaman retak. Adapun halhal yang dapat memengaruhi hasil pembacaan alat UPV dalam penelitian ini adalah adalah faktor penggambaran retak yang tidak sempurna dan jarak antar retak yang terlalu dekat.</li> </ol>



2	Dewi Linggasari (2019)	Memperkirakan Kedalam Retak Pada Beton Menggunakan Gelombang Ultrasonik	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Pengukuran kedalaman keretakan pada elemen struktur beton, dapat dilakukan dengan metode yang mengacu pada standard BS 1881 bagian 203 dan buku manual petunjuk penggunaan alat PUNDIT.</li> <li>2. Kedua metode yang digunakan tidak menunjukkan perbedaan hasil kedalaman keretakan yang signifikan.</li> <li>3. Dalam pengukuran waktu tempuh atau kecepatan rambat gelombang ultrasonik kondisi beton yang diuji harus kering, bersih dan rata.</li> <li>4. Kedalaman keretakan yang terjadi pada beton berpengaruh pada metode perbaikan yang akan dilakukan pada elemen struktur tersebut.</li> <li>5. Keretakan merupakan kejadian yang sering timbul pada elemen struktur sehingga diperlukan penanganan dan perencanaan yang tepat sebelum, saat dan setelah pengecoran.</li> </ol>
---	------------------------------	--	--

## 2.12 Hipotesis

Berdasarkan hasil kajian pustaka, maka penelitian diharapkan akan memberikan hasil yaitu :

1. Terdapat pengaruh antara variasi perletakan transduser terhadap pembacaan kedalaman retak sebesar 4 cm.
2. Terdapat pengaruh antara variasi perletakan transduser terhadap pembacaan kedalaman retak sebesar 8 cm.
3. Terdapat pengaruh antara variasi perletakan transduser terhadap pembacaan kedalaman retak sebesar 12 cm.
4. Terdapat pengaruh antara waktu transmisi gelombang pada setiap variasi perletakan transduser terhadap pembacaan kedalaman retak pada beton





### BAB III

## METODE PENELITIAN

### 3.1 Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Maret 2021 sampai selesai di Laboratorium Struktur dan Bahan Konstruksi Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Brawijaya, Malang.

### 3.2 Alat dan Bahan Penelitian

#### 3.2.1 Alat Penelitian

- Satu set ayakan agregat kasar dan halus
- Timbangan
- Concrete mixer* (alat pencampur bahan beton)
- Alat bantu proses pengecoran
- Cetakan balok beton ukuran 20 x 20 x 70 cm
- Cetakan silinder ukuran 30 x 30 cm (ketebalan 1,5 mm)
- Satu set alat uji slump beton segar
- Acrylic*
- Mistar
- Kain lap penyerap air
- Talam
- Satu set alat UPVT

#### 3.2.2 Bahan Penelitian

- Portland Composite Cement (PCC)*
- Air Bersih
- Agregat kasar (kerikil)
- Agregat Halus (Pasir)

### 3.3 Variabel Penelitian

- Variabel Bebas (*Interpendent Variable*) adalah variabel yang ditentukan dalam penelitian yang akan mempengaruhi variabel lain. Variabel bebas ditentukan, dimanipulasi ataupun diukur sendiri oleh peneliti dalam penelitiannya. Variabel bebas yang digunakan pada penelitian ini adalah variasi perletakan transducer alat

UPVT dengan jarak 5, 10 dan 15 cm dan variasi keretakan lurus yang sudah dibuat pada benda uji beton yang terdiri dari 4, 8, dan 12 cm.

b) Variabel Terikat (*Dependent Variable*) adalah factor yang diteliti oleh penulis sebab dari adanya rekayasa atau manipulasi pada variabel bebas. Variabel terikat dipengaruhi oleh variabel bebas. Pada penelitian ini, gelombang dan hasil pembacaan kedalaman retak menjadi variabel terikat.

c) Variabel kontrol (*Control Variable*) Merupakan variabel yang sering digunakan dan berfungsi untuk mengontrol variabel bebas terhadap variabel terikat agar variabel luar yang tidak diteliti tidak dapat memberikan pengaruh terhadap variabel bebas.

Variabel kontrol pada penelitian ini adalah kedalaman retak beton aktual ( $h$  aktual) yang terdiri dari 4, 8 dan 12 cm.

### 3.4 Analisa Bahan

#### 3.4.1 Semen

Semen yang akan digunakan adalah *Portland Composite Cement* (PCC) tipe 1. Sebelum digunakan semen dilakukan pengamatan terlebih dahulu terhadap kondisi semen dengan cara melihat fisik dari semen tersebut. Semen yang digunakan adalah merk Gresik.

#### 3.4.2 Air

Air yang digunakan pada penelitian ini adalah air PDAM Kota Malang yang bersih dan tidak berwarna serta tidak berbau.

#### 3.4.3 Agregat Kasar Alami (*Natural Coarse Aggregate*)

Dilakukan pengujian dengan menggunakan kerikil dari batu pecah sebelum proses pengecoran dilakukan. Pengujian yang dilakukan yaitu :

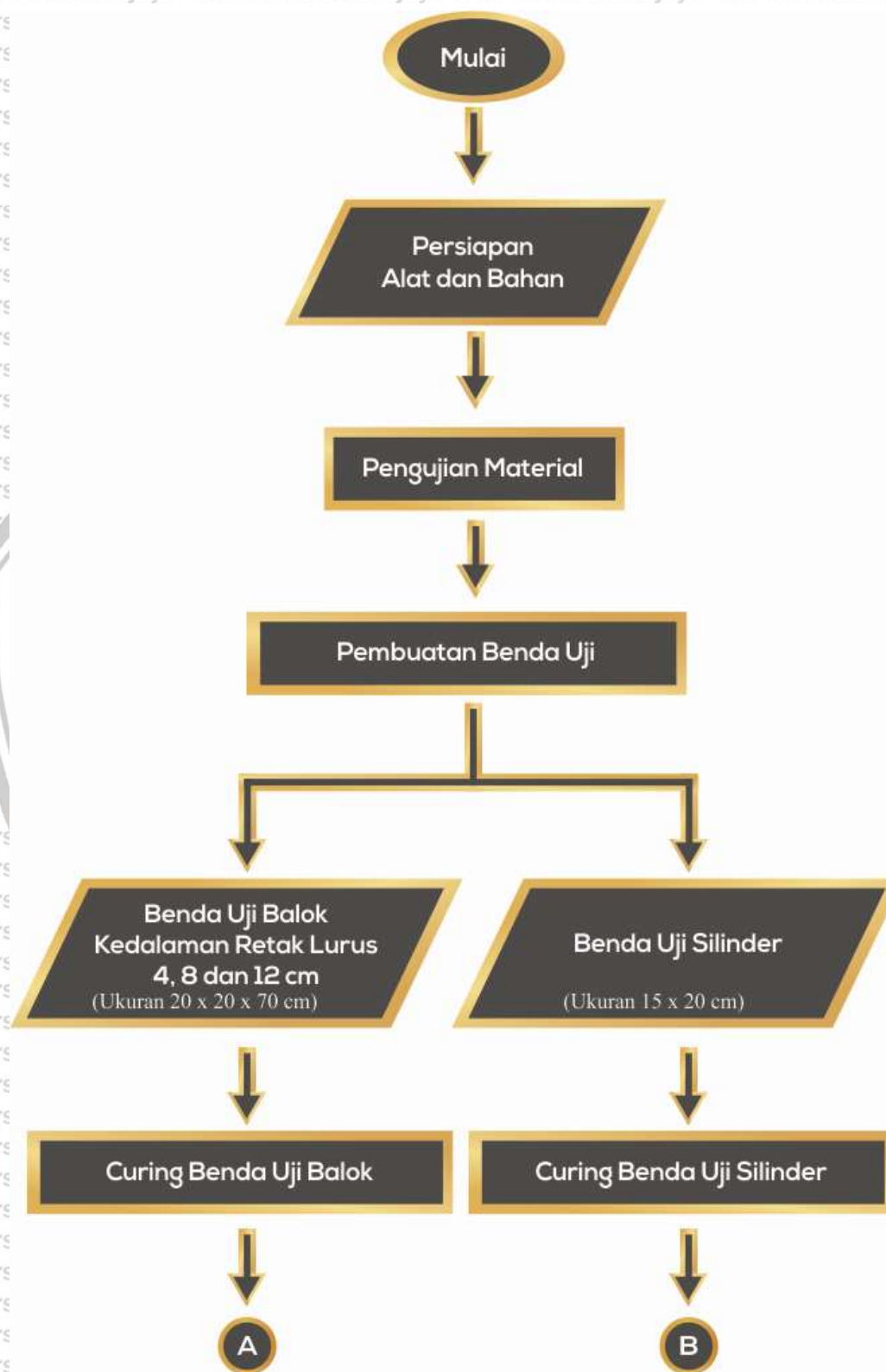
- SNI 03-2847-2002 (Analisa Saringan Agregat Kasar dan Halus)
- SNI 1969-2008 (Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar)
- ASTM C-29-71 (Pengujian Berat Isi Agregat)

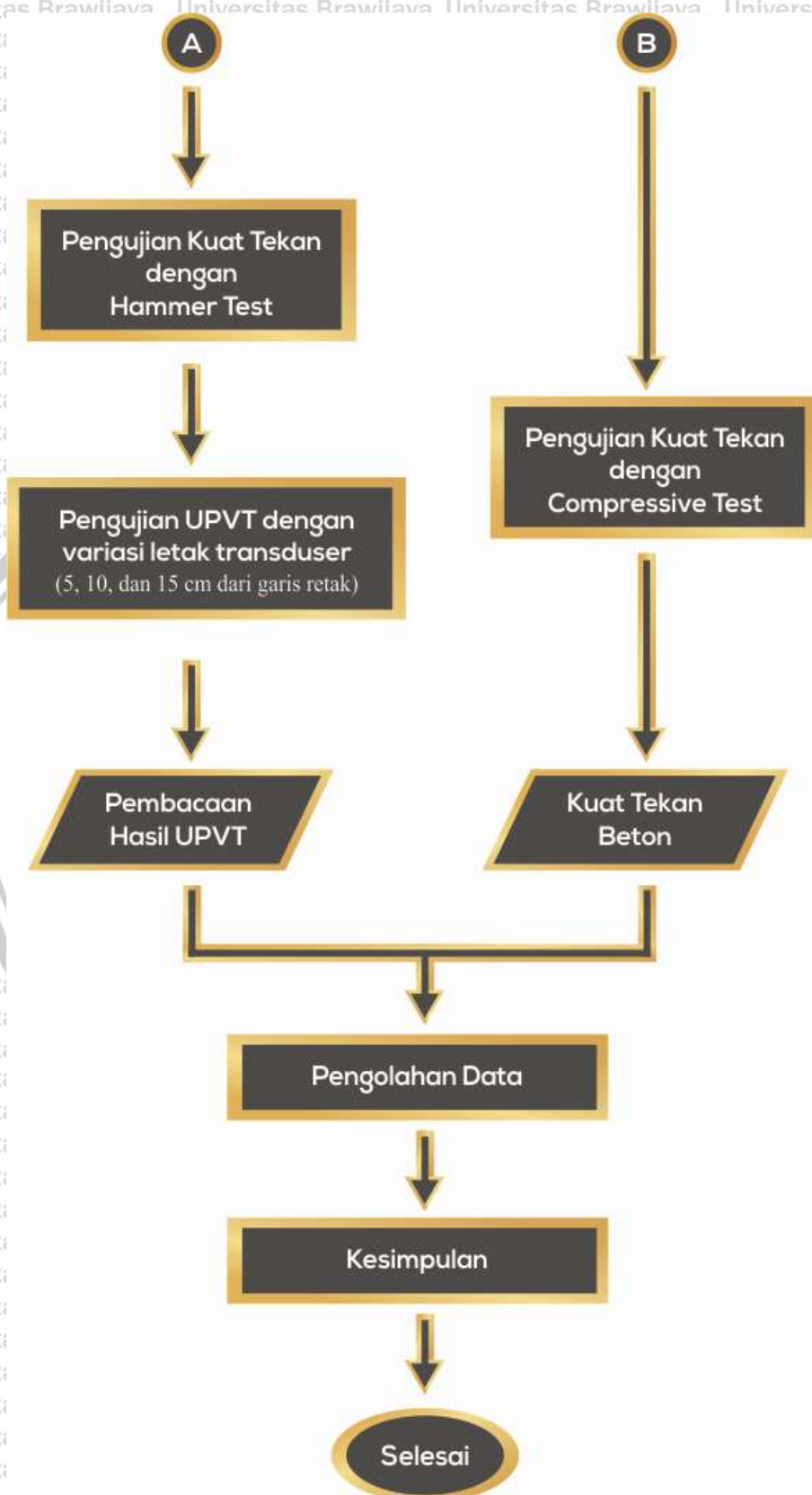
#### 3.4.4 Agregat Halus

Sebelum proses pengecoran dilakukan, pasir yang digunakan harus sudah diuji dengan menggunakan Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar sesuai SNI 03-2847-2002.



### 3.5 Tahap Penelitian





Gambar 3. 1 Flowchart Penelitian



### 3.6 Rancangan Penelitian

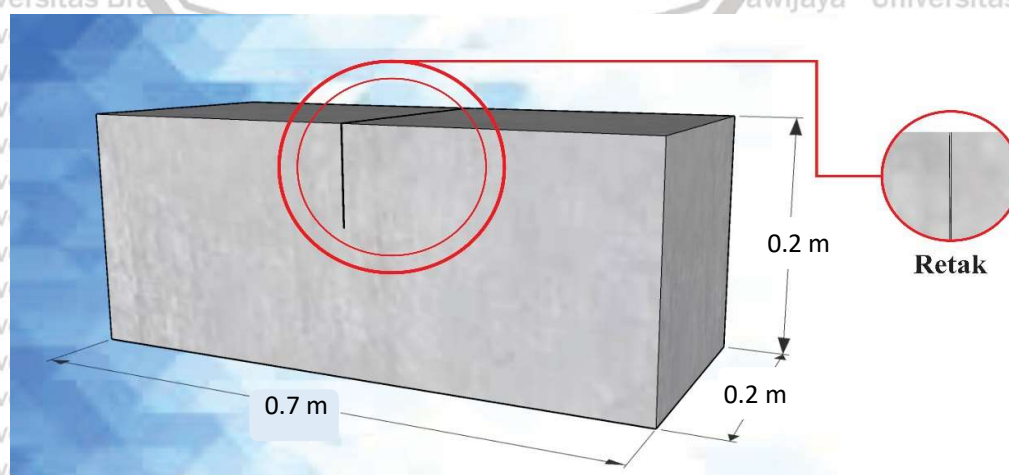
Penelitian ini menggunakan benda uji balok sebagai benda uji utama dan benda uji silinder sebagai kontrol kuat tekan. Benda uji balok memiliki ukuran 20 x 20 x 70 cm, dengan bagian tengah balok dibuat keropos, sedangkan benda uji silinder memiliki diameter 15 cm dan tinggi 30 cm. Benda uji balok dibagi menjadi 3 variasi kedalaman keretakan yang berbeda antara lain 4, 8 dan 12 cm (dari permukaan atas). Setelah itu akan diuji dengan alat UPVT yang dibagi menjadi 3 variasi jarak masing – masing transducer terhadap keretakan antara lain 5, 10, dan 15 cm. Masing-masing benda uji berjumlah 3. Sedangkan benda uji silinder berjumlah 3.

Tabel 3. 1

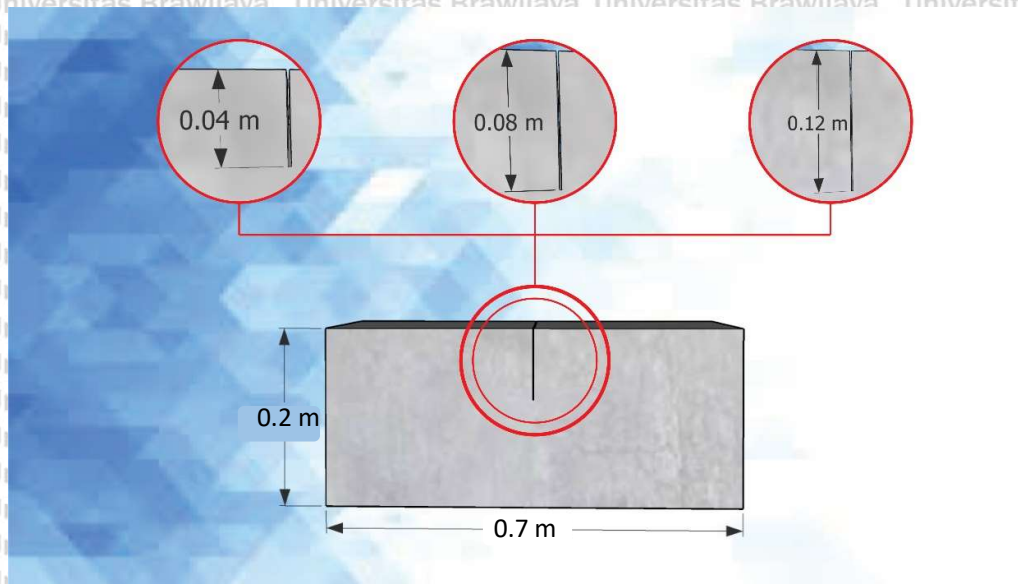
Rancangan Benda Uji

Benda Uji	Jenis Benda Uji	Volume Benda Uji ( $m^3$ )	Total Benda Uji
Beton dengan kedalaman retak 4 cm	Balok	0,028	1
Beton dengan kedalaman retak 8 cm	Balok	0,028	1
Beton dengan kedalaman retak 12 cm	Balok	0,028	1
Beton Normal	Silinder	0,0053	3

Bahan *Acrylic* dengan ketebalan 1,5 mm dapat digunakan untuk memodelkan beton agar memiliki kedalaman retak sesuai dengan yang di rencanakan.



Gambar 3. 2 Dimensi Benda Uji Balok yang Diberi Keretakan



Gambar 3. 3Variasi Kedalaman Retak pada Benda Uji Balok



Gambar 3. 4Dimensi Silinder Beton

### 3.7 Prosedur Penelitian

#### 3.7.1 Pengujian Bahan Mix Design

Pengujian bahan *Mix Design* dilakukan untuk menentukan analisis pada butiran, berat jenis penyerapan, dan kadar air yang terdapat pada bahan. Pengujian ini dilakukan sesuai buku petunjuk praktikum teknologi beton jurusan Teknik Sipil Universitas Brawijaya.

Agregat kasar dan halus akan diuji berdasarkan :

- SNI 03-2847-2002 (Analisa saringan agregat kasar dan halus).



➤ SNI-1969-2008 (Cara Uji Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar).

### 3.7.2 Pengujian Beton Segar (*Fresh Concrete*)

Pengujian ini dilakukan setelah proses pengadukan bahan dasar berlangsung dan pengujian ini biasanya disebut *slump test*. *Slump test* dilakukan untuk segera mengetahui apakah kadar air dari beton sudah cukup, kelebihan ataupun kekurangan. *Workability*. Kadar air dapat menentukan tingkat homogenitas campuran beton segar yang akan digunakan.

### 3.7.3 Pembuatan Benda Uji

Dalam pembuatan benda uji, dapat dilakukan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Bahan penyusun beton dipersiapkan dengan komposisi bahan 1 : 1,6 : 2,6.
2. Agar mencapai campuran beton segar yang homogen, maka dimasukkan bahan-bahan dasar kedalam *concrete mixer* dan diaduk selama 15 menit.
3. Kemudian dilakukan *uji slump* setelah pengadukan campuran bahan selesai. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui apakah campuran beton segar sudah memenuhi tingkat *workability* yang diinginkan.
4. Selanjutnya mempersiapkan bekisting balok yang sudah dilumuri oli dan sudah sesuai dengan dimensi benda uji yang direncanakan.
5. Kemudian pasang *acrylic* yang sudah dilumuri oleh pada bekisting balok untuk memberikan bentuk garis retak pada benda uji.
6. Masukkan campuran beton segar dengan menuangkannya kedalam bekisting balok.
7. Kemudian lepas *acrylic* ketika campuran beton normal sudah dalam keadaan setengah mengering.

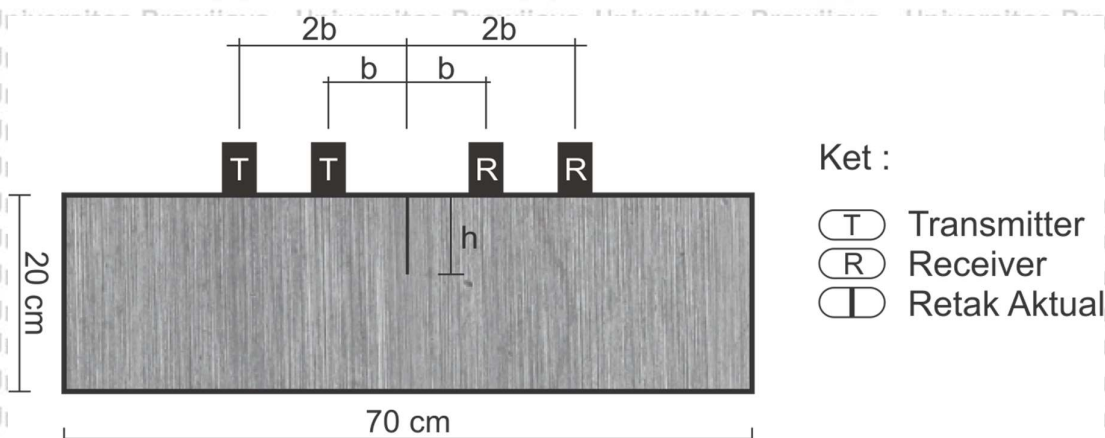
### 3.7.4 Perawatan Benda Uji Beton

Perawatan pada benda uji beton dilakukan setelah benda uji dibiarkan mengering dalam waktu 24 jam dan bekisting balok sudah dilepas dari benda uji tersebut. Perawatan pada benda uji dilakukan untuk menjaga kelembaban beton dan tidak membiarkan beton dengan mudahnya kehilangan air. Perawatan dilakukan dengan merendam benda uji di dalam bak air yang memiliki suhu berkisar antara 23° – 28°C. Dan perawatan berlangsung selama 7 hari setelah tanggal pengecoran.

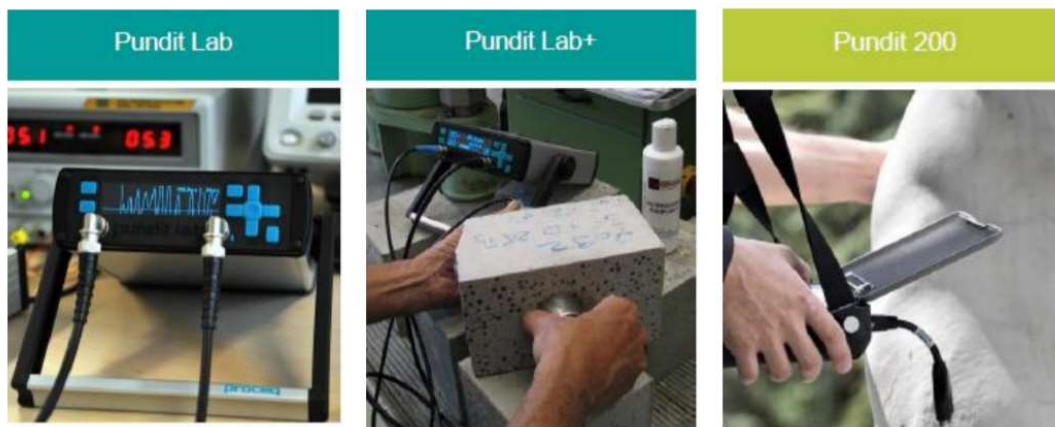
### 3.7.5 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Setelah benda uji berumur 28 hari, maka dilakukan pengujian UPV dengan menggunakan alat PUNDIT PL-200 dari PROCEQ. Metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode *indirect* atau tidak langsung dimana kedua transduser

diletakkan pada permukaan benda uji yang diberikan keretakan dengan kedalaman yang sudah ditentukan. *Transmitter* dan *receiver* diletakkan di permukaan yang sama dengan jarak transduser yang sudah ditentukan pada benda uji beton terlihat seperti pada gambar 3.5. Setelah pengujian dilakukan, akan didapatkan hasil yaitu berupa waktu tempuh gelombang ultrasonik dan estimasi kedalaman retak pada benda uji beton.



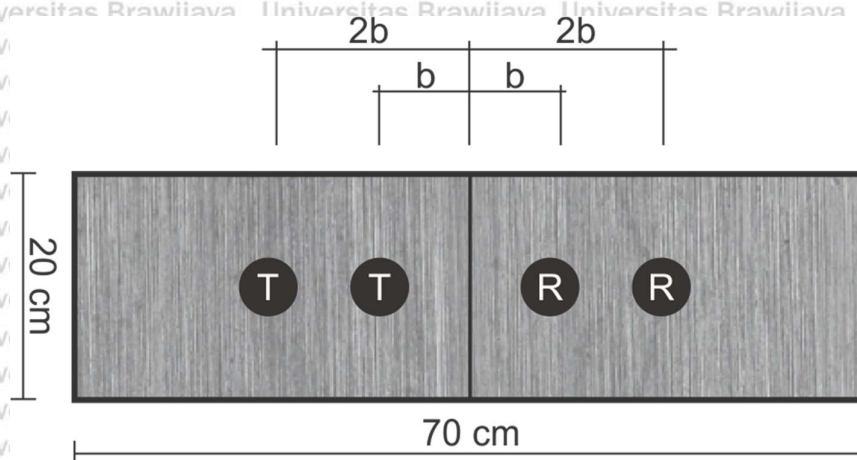
Gambar 3. 5 Percobaan UPVT Metode Indirect



Gambar 3. 6 Alat UPVT

(Sumber : PROCEQ, 2015)





Gambar 3. 7 Titik Perletakan Transduser pada Pengujian UPVT pada Permukaan Retak

Pengujian UPV dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Bersihkan permukaan beton yang akan diuji.
2. Selanjutnya menentukan dan memberikan tanda pada titik letak transduser.
3. Kemudian melakukan kalibrasi pada alat PUNDIT PL-200 agar alat tersebut mendapatkan waktu tempuh gelombang yang sama pada kedua transduser.
4. Gunakan mode pengukuran 'Crack Depth' dan masukkan jarak perletakan transduser pada layar PUNDIT PL-200.
5. Kemudian oleskan *ultrasonic gel* (*couplant*) pada titik perletakan transduser yang terdapat pada permukaan benda uji.
6. Selanjutnya lakukan pengujian sesuai dengan titik-titik perletakan transduser yang telah ditentukan.
7. Kemudian akan didapatkan waktu transmisi gelombang dan estimasi kedalaman retak pada layar PUNDIT setelah melakukan pengujian UPV.

Pengujian dilakukan dengan cara menggeser transduser ke samping. Pada fitur 'Crack Depth', urutan pengujiannya adalah menggeser *transmitter* dari tengah ke kiri dan *receiver* dari tengah ke kanan sesuai dengan jarak yang telah ditentukan.



Gambar 3. 8 Pengujian UPV pada Benda Uji Balok

Sumber : Dokumentasi Penelitian

### 3.7.6 Pengujian Kuat Tekan Beton

Pengujian kuat tekan beton dilakukan untuk mengetahui nilai kuat tekan dari beton silinder yang sudah berumur 28 hari sehingga dapat diketahui nilai mutu dari beton yang diuji.

Pengujian kuat tekan beton dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut :

1. Dilakukan penimbangan terhadap benda uji sebelum melakukan pengujian agar berat benda uji dan kerapatan beton sebagai data tambahan dapat diperoleh.
2. Kemudian melapisi permukaan atas benda uji (*caping*) menggunakan mortar belerang agar tegangan dari mesin penguji dapat terdistribusi dengan merata pada permukaan bagian atas beton tersebut.
3. Pastikan benda uji diletakkan secara sentris pada mesin uji.
4. Kemudian menjalankan mesin penguji dengan penambahan beban yang relatif konstan sampai benda yang diuji hancur.
5. Selanjutnya mencatat beban ketika beton hancur agar dapat diperoleh beban maksimum yang mampu diterima oleh beton.



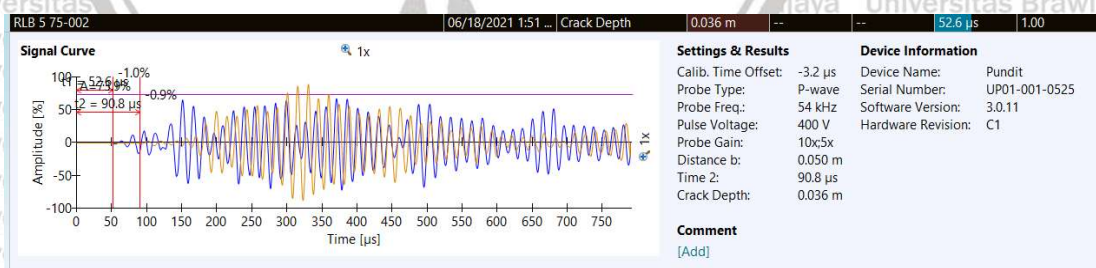


Gambar 3. 9 Uji Kuat Tekan

Sumber : Dokumentasi Penelitian

### 3.8 Metode Pengumpulan Data

Data-data akan diperoleh dari pengujian UPVT. Hasil pengujian pada setiap benda uji akan didapat data berupa waktu yang ditempuh gelombang dan estimasi kedalaman retak dari hasil pembacaan gelombang *ultrasonic* yang diterima dari *receiver* pada PUNDIT PL-200. Hasil data pengujian dapat diolah kemudian dengan menggunakan aplikasi PL-Link pada komputer.



Gambar 3. 10 Tampilan Data Hasil UPVT pada Aplikasi PL-Link

### 3.9 Pengolahan Data

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh variasi perletakan transduser pada alat UPVT terhadap pembacaan kedalaman retak pada beton. Pada penelitian ini parameter akurat terhadap pembacaan kedalaman retak yang bervariasi didasarkan pada variasi perletakan transduser alat UPVT. Dari data-data yang telah didapat kemudian disusun

tabel untuk mendapatkan hubungan korelasi antara variasi perletakan transduser dan pembacaan kedalaman retak pada beton yang bervariasi dengan alat UPVT.

Tabel 3.2

Form – Form Waktu Tempuh Gelombang dan Hasil Pembacaan Kedalaman Retak

Sampel	Variasi Perletakan Transduser, b (cm)		Nilai Retak aktual, h (cm)	Waktu Transmisi Gelombang ( $\mu$ s)		Hasil Pembacaan Kedalaman Retak (cm)	Hasil Pembacaan Kedalaman Retak Rata-Rata (cm)
	b	2b		t1	t2		
RLA	5	10					
	10	20					
	15	30					
RLB	5	10					
	10	20					
	15	30					
RLC	5	10					
	10	20					
	15	30					



## BAB IV HASIL PENELITIAN

### 4.1 Pembuatan Benda Uji

#### 4.1.1 Perencanaan Campuran Benda Uji

Pada penelitian ini, digunakan benda uji beton normal dan beton tak bertulang dengan 3 variasi kedalaman retak lurus yaitu 4 cm, 8 cm, dan 12 cm. Benda uji dengan variasi keretakan berbentuk balok dengan dimensi 20 x 20 x 70 cm dan beton normal berbentuk silinder memiliki dimensi 15 x 30 cm dengan mutu rencana sebesar 25 MPa. Untuk mencapai mutu rencana digunakan perbandingan bahan 1 : 1,6 : 2,6 dalam perencanaan benda uji dengan keterangan semen : agregat halus : agregat kasar. Hasil dari perhitungan dari setiap proporsi bahan dari variasi benda uji dapat dilihat pada tabel 4.1.

Tabel 4. 1

*Kebutuhan Bahan untuk Campuran Bahan Benda Uji*

Kuat Tekan Rencana (MPa)	Jumlah Benda Uji	Kebutuhan material (Kg)			
		Semen	Air	Pasir	Kerikil
25	1	11,48	4,61	18,8	61,72

#### 4.1.2 Proses Pembuatan Benda Uji

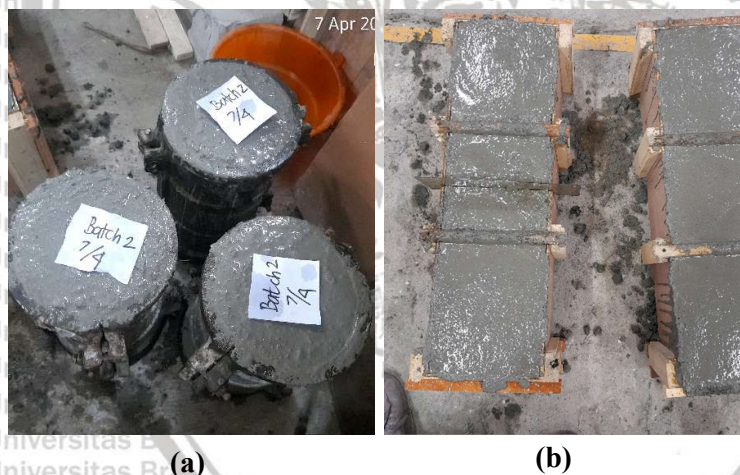
Pembuatan benda uji pada penelitian ini menggunakan alat *concrete mixer* dengan cetakan silinder dengan dimensi 15 x 30 cm dan bekisting untuk balok dengan dimensi 20 x 20 x 70 cm serta *acrylic* dengan dimensi yang menyesuaikan kedalaman retak. Selanjutnya Cetakan silinder dan bekisting balok serta *acrylic* tersebut diolesi dengan oli agar benda uji yang sudah kering mudah dilepaskan dari cetakan dan bekisting serta *acrylic*. Setelah itu, seluruh kebutuhan material ditimbang sesuai proporsi yang sudah ditentukan sesuai dengan tabel 4.1. Kemudian seluruh material dimasukkan ke dalam *concrete mixer* dan diamati hingga material tercampur secara keseluruhan. Selanjutnya dilakukan uji *slump test* untuk mengetahui kelecakan pada beton segar. Digunakan *slump* yang berkisar antara 60 – 180 mm. Setelah beton segar lolos uji *slump*, beton dimasukkan ke dalam bekisting kayu yang sudah terpasang *acrylic* dan cetakan silinder yang sudah disiapkan dan dilumuri oli. Pada waktu yang bersamaan, dilakukan pemadatan beton dengan menggunakan vibrator hingga campuran merata. Kemudian campuran beton segar yang sudah merata dibiarkan hingga



mengeras. Dan sebelum mengeras dengan sempurna, cabut *acrylic* yang terpasang pada bekisting kayu agar *acrylic* tersebut tidak menyatu dengan campuran beton.



Gambar 4. 1 Pembuatan Benda Uji. (a) Pengadukan beton menggunakan concrete mixer; (b) Pengujian slump; (c) Pemadatan beton menggunakan vibrator



Gambar 4. 2 Benda Uji. (a) Campuran pada cetakan silinder; (b) Campuran pada bekisting kayu

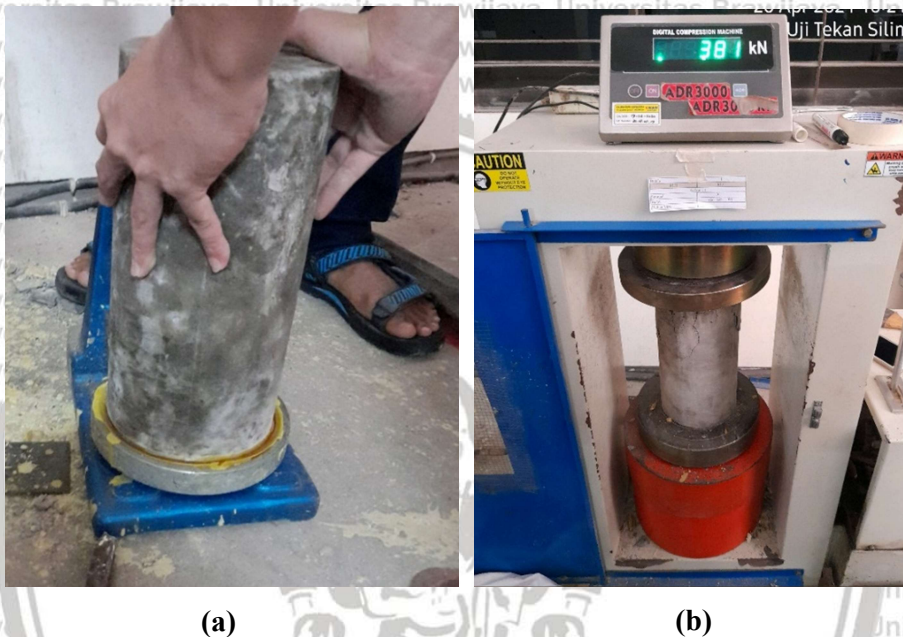
#### 4.1.3 Proses Curing

Dilakukan *curing* atau proses perawatan yang bertujuan untuk mencegah kerusakan seperti keretakan awal yang disebabkan oleh panas hidrasi yang tinggi pada beton setelah dilaksanakannya proses pengecoran. *Curing* dilakukan dengan cara menutupi benda uji dengan karung yang sebelumnya telah dibasahi. *Curing* dilakukan selama 7 hari dan setelah proses *curing* telah selesai dilaksanakan, dapat dilakukan pengujian pada saat beton berumur 28 hari.



#### 4.2 Hasil Pengujian Kuat Tekan menggunakan *Compressive Test*

*Compression Test Machine* digunakan untuk pengujian kuat tekan pada benda uji silinder. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada saat beton berumur 7 hari sehingga perlu dikalikan dengan faktor koreksi kuat tekan terhadap umur beton. Dan luas penampang pada beton silinder yang akan diuji yaitu 17671,459 mm<sup>2</sup> dengan diameter 150 mm.



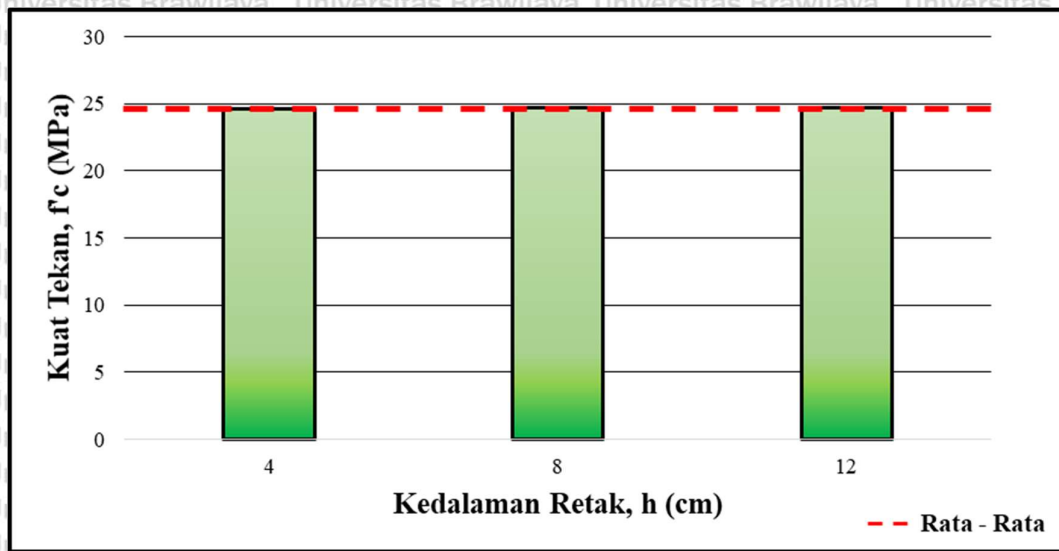
Gambar 4. 3 Uji Kuat Tekan Menggunakan *Compressive Test*. (a) Capping benda uji silinder; (b) Pengujian kuat tekan dengan *compressive test*

Tabel 4. 2

Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Menggunakan Uji Tekan *Compressive Test*

Benda Uji	Berat	Beban Maksimum	f' <sub>c</sub> (14 hari)	f' <sub>c</sub> (28 hari)	Standar Deviasi	Rata-Rata (MPa)
	(kg)	(N)	(MPa)	(MPa)		
RLA	11,82	425000	24,062	27,343	6,2	24,598
	11,98	450000	25,478	28,952		
	12,19	272000	15,4	17,5		
RLB & RLC	12,05	363000	20,552	23,092	1,854	24,683
	12,2	381000	21,571	24,237		
	12,34	420000	23,779	26,718		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4. 4 Grafik Rata-Rata Hasil Compressive Test Beton Normal pada Benda Uji dengan Kedalaman Retak 4, 8, dan 12 cm

Dapat dilihat pada gambar 4.4, pengujian kuat tekan beton normal pada benda uji dengan kedalaman retak 4 cm (RLA), 8 cm (RLB), dan 12 cm (RLC) menghasilkan nilai kuat tekan yang bervariasi. Pada benda uji dengan kedalaman retak 4 cm memiliki variasi nilai kuat tekan dengan rata-rata sebesar 24,598 MPa. Pada benda uji dengan kedalaman retak 8 cm dan 12 cm memiliki variasi nilai kuat tekan yang sama karena pengecoran dilakukan pada batch yang sama. Yaitu dengan rata-rata sebesar 24,683 MPa. Dapat disimpulkan bahwa kuat tekan pada beton RLA lebih tinggi dari beton RLB dan RLC namun tidak ada perbedaan hasil yang signifikan antara masing-masing kuat tekan beton normal.

#### 4.3 Pengujian Kuat Tekan Menggunakan Hammer Test

Pengujian *Hammer* dilakukan terlebih dahulu sebelum melakukan pengujian *UPV* agar permukaan pada benda uji yang akan diuji tidak lembab akibat penggunaan *couplant gel*. Dan pengujian *Hammer* ini dilakukan pada seluruh benda uji balok yang sudah berumur 28 hari agar kuat tekan beton sudah mencapai 100% saat dilakukan pengujian. Pada pengujian *hammer* ini menggunakan alat *silver Schmidt Hammer* dari PROCEQ.





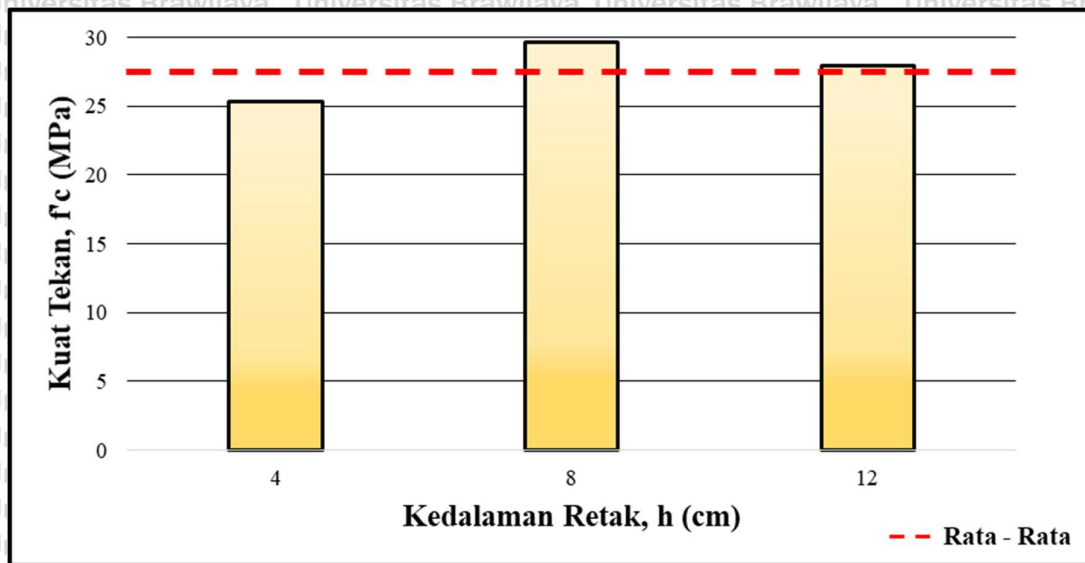
Gambar 4. 5 Pengujian Kuat Tekan dengan Hammer Test

Tabel 4. 3

Hasil Pengujian Kuat Tekan Silinder Beton Menggunakan Uji Tekan Hammer Test

Benda Uji	f'c (28 hari) (MPa)	Standar Deviasi	Rata-Rata (MPa)
RLA	21,5	2,797	25,3
	23,5		
	26		
	27		
	28,5		
RLB	25,5	4,006	29,6
	25,5		
	30		
	33,5		
	33,5		
RLC	26,5	1,557	27,9
	26,5		
	27,5		
	29		
	30		

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4. 6 Grafik Hasil Hammer Test Beton Normal pada Benda Uji dengan Kedalaman Retak 4, 8, dan 12 cm.

Dapat dilihat pada gambar 4.6, pengujian kuat tekan pada beton tak bertulang pada benda uji dengan kedalaman retak 4 cm (RLA), 8 cm (RLB), dan 12 cm (RLC) menghasilkan nilai kuat tekan yang bervariasi. Pada benda uji dengan kedalaman retak 4 cm memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 25,3 MPa. Pada benda uji dengan kedalaman retak 8 cm memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 29,6 MPa. Pada benda uji dengan kedalaman retak 12 cm memiliki nilai kuat tekan rata-rata sebesar 27,9 MPa. Dapat disimpulkan bahwa beton RLB memiliki nilai kuat tekan tertinggi dibandingkan beton RLA dan RLC.

#### 4.4 Pengujian Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Setelah pengujian *Hammer* selesai dilaksanakan pada seluruh benda uji balok dan didapatkan hasil *Rebound Number*, maka pengujian selanjutnya yang dilakukan yaitu UPVT (*Ultrasonic Pulse Velocity Test*) pada benda uji balok yang sama. Alat pada pengujian UPV menggunakan PUNDIT PL-200 dari PROCEQ dan pada penelitian ini, mode pengukuran yang digunakan yaitu *Crack Depth* untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan oleh gelombang ultrasonik untuk merambat melalui material beton tak bertulang yang mengalami *shallow crack* (keretakan dangkal) yang menghasilkan *output* estimasi kedalaman retak pada beton.

Pengujian dilakukan dengan menggunakan 3 variasi benda uji yaitu, benda uji dengan kedalaman retak 4, 8 dan 12 cm. Metode yang digunakan pada penelitian ini yaitu metode pengujian tidak langsung (*Indirect Method*) dengan 3 variasi perletakan transduser yang



terdiri dari 5, 10, dan 15 cm. Berdasarkan BS 1881, disarankan untuk memilih panjang lintasan minimum 10 cm jika beton dengan ukuran agregat kurang dari atau sama dengan 2 cm dan panjang lintasan minimum 15 cm untuk beton dengan ukuran agregat maksimum 4 cm. Hal tersebut menjadi dasar dalam pemilihan variasi perletakan transduser pada penelitian ini. Pengujian UPV dengan PUNDIT PL-200 untuk estimasi kedalaman retak, menggunakan standar *British Standard* (BS) 1881 pada mode pengukuran '*Crack Depth*'. Estimasi kedalaman retak dengan menggunakan BS 1881 memperhitungkan jarak antar transduser dan waktu transmisi gelombang ( $t_1$  dan  $t_2$ ). Estimasi kedalaman retak juga dapat dihitung dengan metode L-L dan Delta dimana metode ini memperhitungkan waktu transmisi gelombang pada permukaan beton yang retak dan menggunakan mode pengukuran '*Transmission Time*' pada PUNDIT PL-200 untuk mencari nilai waktu transmisi gelombang pada permukaan beton yang sehat ( $t_0$ ).

Setelah nilai estimasi kedalaman retak didapatkan, maka perlu diketahui tingkat akurasi estimasi masing-masing metode dalam memperkirakan kedalaman retak yang terdapat pada beton. Oleh karena itu digunakan perhitungan kesalahan relatif untuk menilai tingkat akurasi estimasi kedalaman retak terhadap nilai aktual. Semakin mendekati 0 % nilai kesalahan relatif hasil estimasi kedalaman retak maka semakin akurat nilai estimasi tersebut. Perhitungan kesalahan relatif yang digunakan dapat dilihat pada persamaan 4.1.

$$KR = \left| \frac{NA - NP}{NA} \right| \times 100 \% \dots\dots\dots (4.1)$$

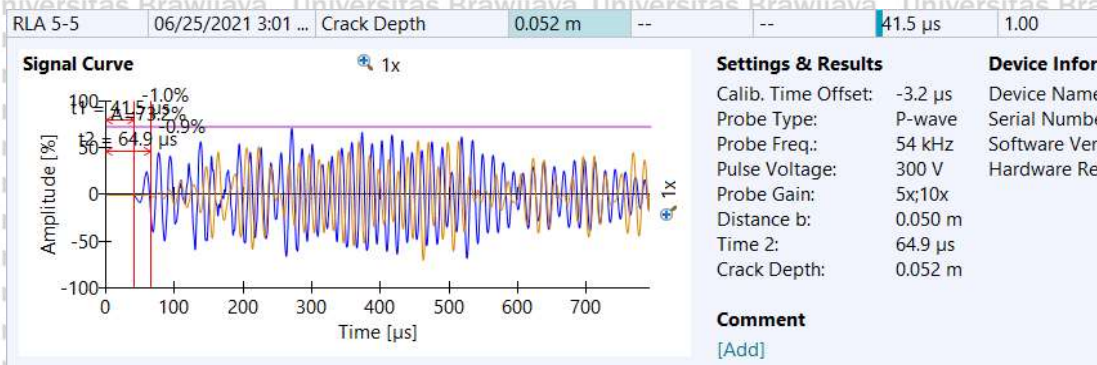
Keterangan : KR = Kesalahan relatif (%)

NA = Nilai retak aktual (cm)

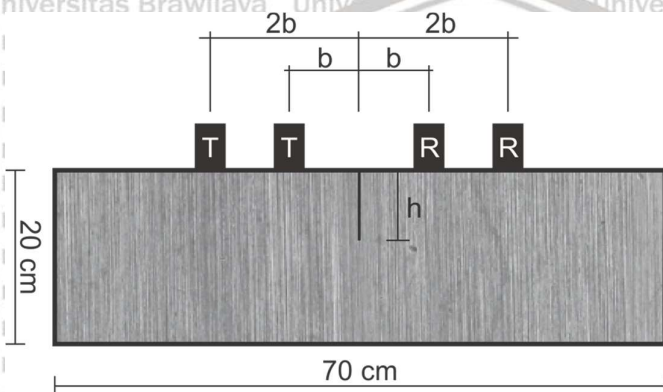
NP = Nilai estimasi kedalaman retak (cm)



Gambar 4. 7. Pengujian UPV menggunakan metode *Crack Depth*



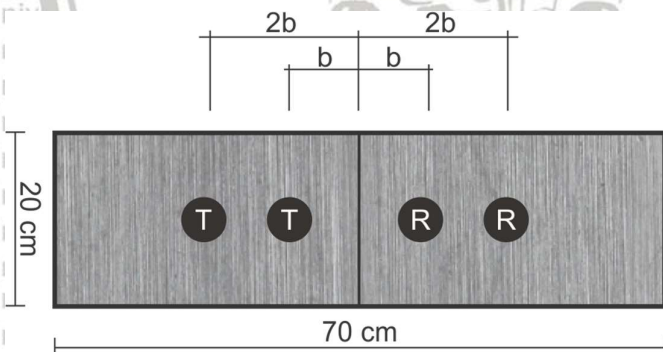
Gambar 4. 8 Pengambilan Data Menggunakan Metode Crack Depth



Ket :

- (T) Transmitter
- (R) Receiver
- ( ) Retak Aktual

Gambar 4. 9 Tampak Samping Benda Uji Balok



Gambar 4. 10 Tampak Atas Benda Uji Balok



#### 4.4.1 Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm

Tabel 4. 4

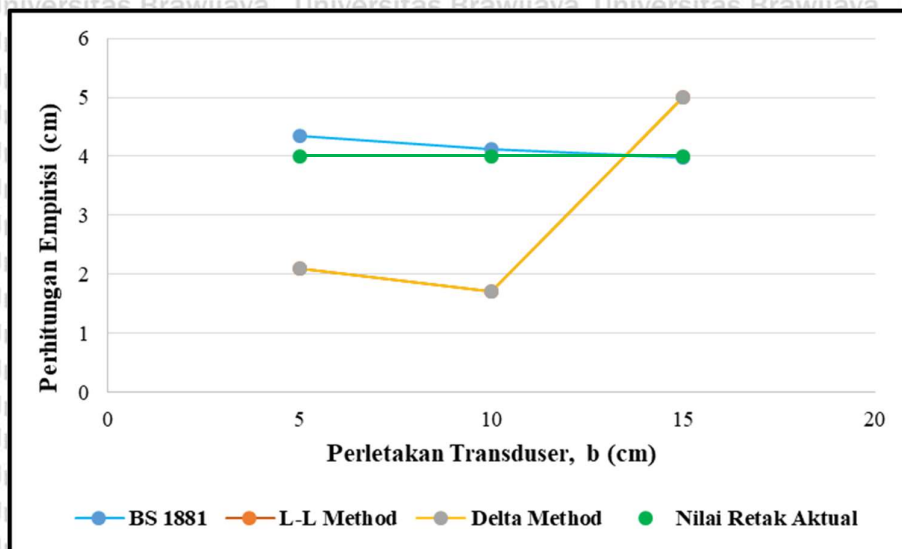
Hasil Pengujian UPV pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm

Perletakan Transduser (cm)		Waktu Transmisi Gelombang ( $\mu$ s)			h Aktual (cm)	h Pembacaan UPV (cm)	h Perhitungan Empiris (cm)			h Rata-Rata (cm)			Standar Deviasi		
b	2b	t0	t1	t2			BS 1881	L-L	Delta	BS 1881	L-L	Delta	BS 1881	L-L	Delta
5	10	36	37	63,9	4	3,6	3,6	1,2	1,2	4,34	2,1	2,1	0,69	0,71	0,71
			38,1	64,8		3,8	3,8	1,7	1,7						
			38,2	63,6		4,2	4,2	1,8	1,8						
			40,9	65,2		4,9	4,9	2,7	2,7						
			41,5	64,9		5,2	5,2	2,9	2,9						
10	20	66	65,7	125,9		3,5	3,5	-	-	4,12	1,7	1,7	0,55	0,65	0,65
			66,2	126,7		3,6	3,6	0,8	0,8						
			67,2	126,2		4,3	4,3	1,9	1,9						
			67,5	126,6		4,4	4,4	2,1	2,1						
			67,5	125,3		4,8	4,8	2,1	2,1						
15	30	98	102,6	201,7		3,3	3,3	4,6	4,6	3,98	5	5	0,65	0,56	0,56
			102,5	201,5		3,3	3,3	4,6	4,6						
			95,9	186,8		4,1	4,1	-	-						
			105,1	203,3		4,6	4,6	5,8	5,8						
			103,4	200		4,6	4,6	5	5						

Sumber: Hasil Penelitian

Dapat dilihat pada tabel 4.4, nilai perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai yang sama persis dengan hasil pengujian UPV sehingga hal tersebut membuktikan bahwasannya alat pengujian menggunakan standar perhitungan BS 1881. t1 dan t2 yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada setiap variasi perletakan transduser. Hal ini disebabkan oleh panjang lintasan gelombang yang semakin besar akibat perletakan transduser yang semakin berjauhan. Secara keseluruhan, t0 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan t1 dan t2. Hal itu

disebabkan oleh waktu transmisi gelombang pada permukaan yang sehat ( $t_0$ ) tidak memiliki hambatan berupa keretakan yang terjadi pada beton sehingga gelombang lebih cepat diterima oleh *receiver* transduser.



Gambar 4. 11 Grafik Hasil Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm

Dapat dilihat pada gambar 4.11, perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai yang semakin kecil seiring dengan semakin besarnya jarak perletakan antar transduser ( $b$ ). Semakin besar variasi perletakan transduser maka hasil pembacaan semakin mendekati nilai retak aktual. Berbeda dengan metode BS 1881, perhitungan empiris dengan metode L-L dan Delta memiliki hasil yang beragam di setiap variasi perletakan transduser. Dan dengan metode ini, variasi perletakan transduser ( $b$ ) pada jarak 15 cm memiliki nilai yang paling mendekati nilai aktual dibanding variasi perletakan transduser lainnya. Perhitungan empiris antara metode L-L dan Delta memiliki nilai yang sama persis karena jarak *transmitter* terhadap garis retak sama dengan jarak *receiver* terhadap garis retak.

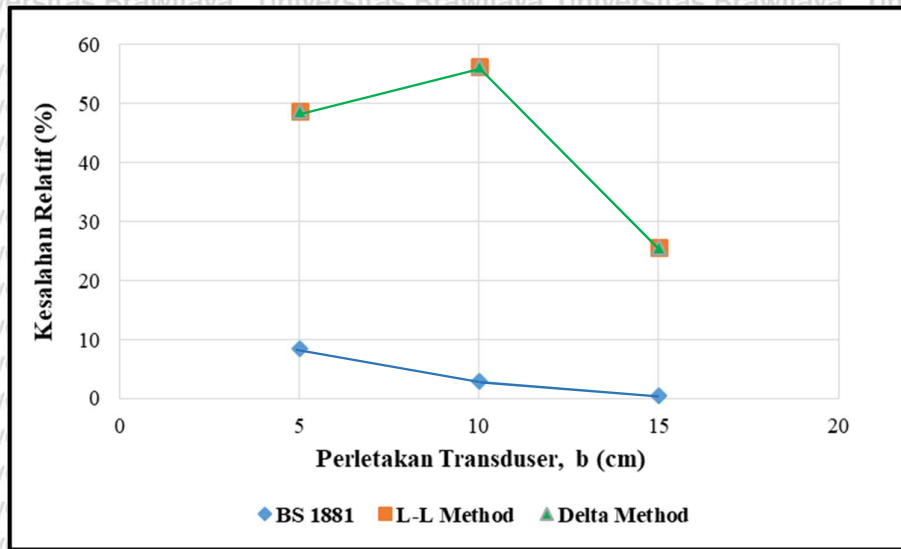
Tabel 4. 5

Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris Kedalaman Retak pada Beton dengan Kedalaman Retak 4 cm

Perletakan Transduser (cm)		Kesalahan Relatif (%)		
b	2b	BS 1881	L-L	Delta
5	10	8,5	48,71	48,71
10	20	3	56,36	56,36
15	30	0,5	25,67	25,67

Sumber: Hasil Penelitian





Gambar 4. 12 Grafik Nilai Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm

Dapat dilihat pada gambar 4.12, perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai kesalahan relatif yang lebih kecil dibandingkan dengan metode L-L dan metode Delta. Dan nilai kesalahan relatif paling kecil didapatkan pada perhitungan empiris dengan metode BS 1881 dengan perletakan transduser 15 cm. Sehingga dapat disimpulkan, perhitungan dengan metode BS 1881 pada perletakan transduser 15 cm paling efektif dilakukan pada beton tidak bertulang dengan kedalaman retak 4 cm dengan nilai kesalahan relatif sebesar 0,5%.

#### 4.4.2 Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm

Tabel 4. 6

Hasil Pengujian UPV pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm

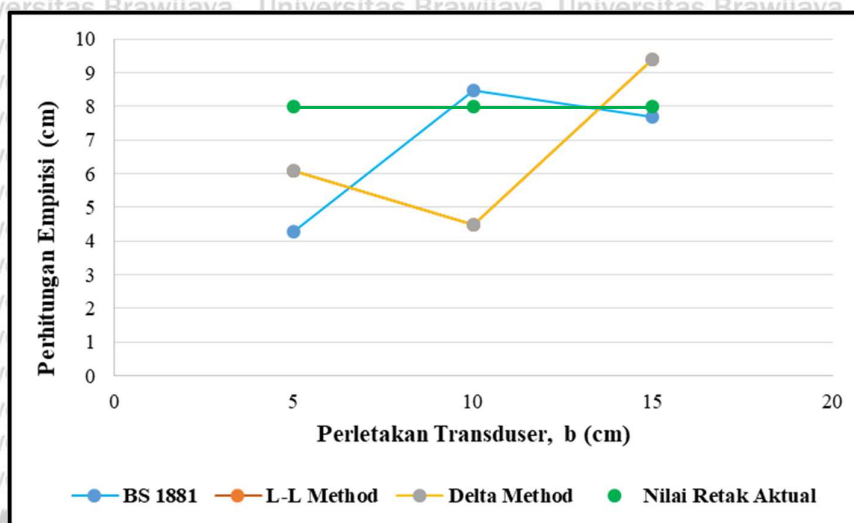
Perletakan Transduser (cm)		Waktu Transmisi Gelombang ( $\mu$ s)			h Aktual (cm)	h Pembacaan UPV (cm)	h Perhitungan Empiris (cm)			h Rata-Rata (cm)			Standar Deviasi		
b	2b	t0	t1	t2			BS 1881	L-L	Delta	BS 1881	L-L	Delta	BS 1881	L-L	Delta
5	10	35	52,1	91	8	3,4	3,4	5,5	5,5	4,28	6,1	6,1	0,91	0,59	0,59
			52,6	90,8		3,6	3,6	5,6	5,6						
			54,3	91,6		4	4	5,9	5,9						
			57,7	92,2		4,8	4,8	6,6	6,6						
			59,4	90,6		5,6	5,6	6,9	6,9						
10	20	78	84,9	142,4		8,1	8,1	4,3	4,3	8,46	4,5	4,5	0,4	1,4	1,4
			84,2	140,7		8,2	8,2	4,1	4,1						
			92,1	153,5		8,3	8,3	6,3	6,3						
			87,7	144,6		8,6	8,6	5,1	5,1						
			80,4	130,7		9,1	9,1	2,5	2,5						
15	30	91	100,8	187,4		7,1	7,1	7,1	7,1	7,68	9,4	9,4	0,57	1,46	1,46
			107,9	199,8		7,3	7,3	9,6	9,6						
			107,9	198,9		7,5	7,5	9,6	9,6						
			113,6	207,3		8	8	11,2	11,2						
			108,6	196,6		8,5	8,5	9,8	9,8						

Sumber: Hasil Penelitian

Dapat dilihat pada tabel 4.8, nilai perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai yang sama persis dengan hasil pengujian UPV sehingga hal tersebut membuktikan bahwasannya alat pengujian menggunakan standar perhitungan BS 1881. t1 dan t2 yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada setiap variasi perletakan transduser. Hal ini disebabkan oleh panjang lintasan gelombang yang semakin besar akibat perletakan transduser yang semakin berjauhan. Secara keseluruhan, t0 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan t1 dan t2. Hal itu



disebabkan oleh waktu transmisi gelombang pada permukaan yang sehat ( $t_0$ ) tidak memiliki hambatan berupa keretakan yang terjadi pada beton sehingga gelombang lebih cepat diterima oleh receiver transduser.



Gambar 4.13 Grafik Hasil Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm

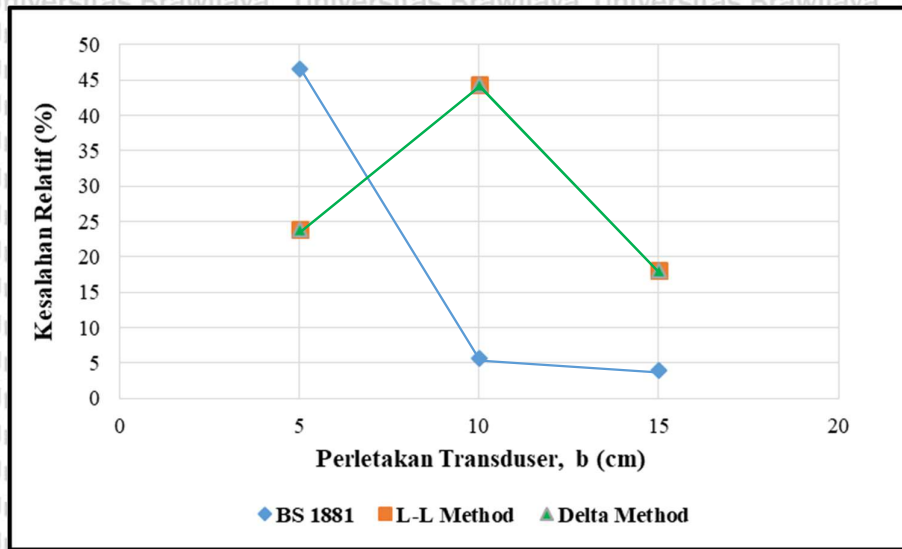
Dapat dilihat pada gambar 4.13, perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki hasil yang beragam di setiap variasi perletakan transduser. Semakin besar variasi perletakan transduser maka hasil pembacaan semakin mendekati nilai retak aktual. Berbeda dengan metode BS 1881, perhitungan empiris dengan metode L-L dan Delta memiliki hasil yang beragam di setiap variasi perletakan transduser dimana perhitungan pada perletakan transduser 10 cm memiliki hasil yang paling menjauhi nilai retak aktual. Dan dengan metode ini, variasi perletakan transduser ( $b$ ) pada jarak 15 cm memiliki nilai yang paling mendekati nilai aktual dibanding variasi perletakan transduser lainnya. Perhitungan empiris antara metode L-L dan Delta memiliki nilai yang sama persis karena jarak *transmitter* terhadap garis retak sama dengan jarak *receiver* terhadap garis retak.

Tabel 4.7

Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris Kedalaman Retak pada Beton dengan Kedalaman Retak 8 cm

Perletakan Transduser (cm)		Kesalahan Relatif (%)		
b	2b	BS 1881	L-L	Delta
5	10	46.5	23.84	23.84
10	20	5.75	44.29	44.29
15	30	4	18.1	18.1

Sumber : Hasil Penelitian



Gambar 4. 14 Grafik Nilai Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm

Dapat dilihat pada gambar 4.14, perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai kesalahan relatif yang beragam seperti metode L-L dan metode Delta. Namun nilai kesalahan relatif paling kecil didapatkan pada perhitungan empiris dengan metode BS 1881 dengan perletakan transduser 15 cm. Sehingga dapat disimpulkan, perhitungan dengan metode BS 1881 pada perletakan transduser 15 cm paling efektif dilakukan pada beton tidak bertulang dengan kedalaman retak 8 cm dengan nilai kesalahan relatif sebesar 4%.



#### 4.4.3 Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm

Tabel 4. 8

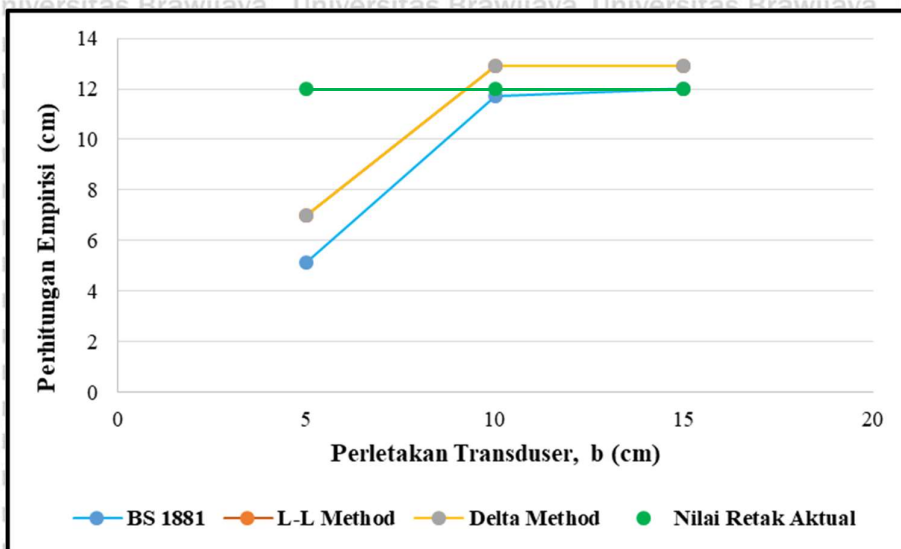
Hasil Pengujian UPV pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm

Perletakan Transduser (cm)		Waktu Transmisi Gelombang ( $\mu$ s)			h Aktual (cm)	h Pembacaan UPV (cm)	h Perhitungan Empiris (cm)			h Rata-Rata (cm)			Standar Deviasi		
b	2b	t0	t1	t2			BS 1881	L-L	Delta	BS 1881	L-L	Delta	BS 1881	L-L	Delta
5	10	38	64,7	104,1	12	4,7	4,7	6,9	6,9	5,12	7	7	0,27	0,13	0,13
			64,7	101,5		5,1	5,1	6,9	6,9						
			66	103,5		5,1	5,1	7,1	7,1						
			65,3	101,3		5,3	5,3	7	7						
			66,5	102,4		5,4	5,4	7,2	7,2						
10	20	62	100,3	152,2		11,4	11,4	12,7	12,7	11,74	12,9	12,9	0,25	0,21	0,21
			100,9	151,8		11,7	11,7	12,8	12,8						
			100,6	151,3		11,7	11,7	12,8	12,8						
			102	153,3		11,8	11,8	13,1	13,1						
			102,7	153,1		12,1	12,1	13,2	13,2						
15	30	97	122,8	208,1		11,6	11,6	11,6	11,6	11,98	12,4	12,4	0,29	0,6	0,6
			127,4	215,1		11,8	11,8	12,8	12,8						
			127,3	214,2		12	12	12,7	12,7						
			128,6	215,2		12,2	12,2	13,1	13,1						
			124	207,1		12,3	12,3	11,9	11,9						

Sumber: Hasil Penelitian

Dapat dilihat pada tabel 4.8, nilai perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai yang sama persis dengan hasil pengujian UPV sehingga hal tersebut membuktikan bahwasannya alat pengujian menggunakan standar perhitungan BS 1881. t1 dan t2 yang dihasilkan memiliki perbedaan yang cukup signifikan pada setiap variasi perletakan transduser. Hal ini disebabkan oleh panjang lintasan gelombang yang semakin besar akibat perletakan transduser yang semakin berjauhan. Secara keseluruhan, t0 memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan t1 dan t2. Hal itu

disebabkan oleh waktu transmisi gelombang pada permukaan yang sehat ( $t_0$ ) tidak memiliki hambatan berupa keretakan yang terjadi pada beton sehingga gelombang lebih cepat diterima oleh *receiver* transduser.



Gambar 4. 15 Grafik Hasil Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm

Dapat dilihat pada gambar 4.15, perhitungan empiris dengan metode BS 1881 memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan semakin besarnya jarak perletakan antar transduser ( $b$ ). Semakin besar variasi perletakan transduser maka hasil pembacaan semakin mendekati nilai retak aktual. Berbeda dengan metode BS 1881, perhitungan empiris dengan metode L-L dan Delta memiliki hasil yang beragam di setiap variasi perletakan transduser. Dan dengan metode ini, variasi perletakan transduser ( $b$ ) pada jarak 15 cm memiliki nilai yang paling mendekati nilai aktual dibanding variasi perletakan transduser lainnya. Perhitungan empiris antara metode L-L dan Delta memiliki nilai yang sama persis karena jarak *transmitter* terhadap garis retak sama dengan jarak *receiver* terhadap garis retak.

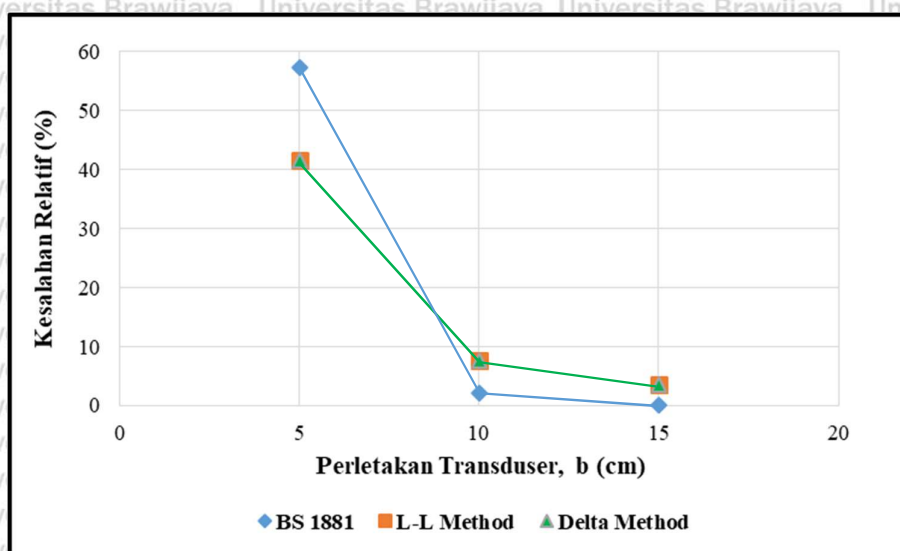
Tabel 4.9

Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris Kedalaman Retak pada Beton dengan Kedalaman Retak 8 cm

Perletakan Transduser (cm)		Kesalahan Relatif (%)		
b	2b	BS 1881	L-L	Delta
5	10	57,33	41,59	41,59
10	20	2,17	7,67	7,67
15	30	0,17	3,61	3,61

Sumber : Hasil Penelitian





Gambar 4. 16 Grafik Nilai Kesalahan Relatif Perhitungan Empiris pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm

Dapat dilihat pada gambar 4.16, semakin besar jarak perletakan transduser (b) maka semakin kecil nilai kesalahan relatif perhitungan empiris terhadap nilai aktual pada seluruh metode perhitungan. Namun nilai kesalahan relatif paling kecil didapatkan pada perhitungan empiris dengan metode BS 1881 dengan perletakan transduser 15 cm. Sehingga dapat disimpulkan, perhitungan dengan metode BS 1881 pada perletakan transduser 15 cm paling efektif dilakukan pada beton tidak bertulang dengan kedalaman retak 12 cm dengan nilai kesalahan relatif sebesar 0,17%.

#### 4.5 Analisis Statistik

Pada penelitian ini digunakan analisis ANOVA (*Analysis of Variance*) sebagai analisis statistik. Dimana analisis ANOVA ini digunakan untuk menilai adakah perbedaan rerata kelompok pada saat pengujian hipotesis penelitian dilakukan. Pada penelitian ini memiliki variabel terikat yaitu hasil pembacaan kedalaman retak beton pada PUNDIT PL-200 dari PROCEQ dan 1 variabel bebas yang terdiri dari variasi perletakan transduser yang diuji pada masing-masing kedalaman retak beton. Maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *One Way* ANOVA pada program SPSS. Ada beberapa asumsi yang harus dipenuhi sebelum melakukan uji *One Way* ANOVA, diantaranya :

1. Sampel berasal dari kelompok yang independen.
2. Masing-masing kelompok data berdistribusi normal.
3. Varian antar kelompok harus homogen.

Analisis statistik *One Way ANOVA* juga dilakukan pada data waktu transmisi gelombang di setiap variasi perletakan transduser (b) yang diuji pada setiap benda uji dengan kedalaman retak (h) yang bervariasi. Berdasarkan *British Standard 1881*, disarankan untuk memilih panjang lintasan minimum 10 cm jika beton dengan ukuran agregat kurang dari atau sama dengan 2 cm dan panjang lintasan minimum 15 cm untuk beton dengan ukuran agregat maksimum 4 cm. Sehingga analisis statistik *One Way ANOVA* hanya dilakukan pada data pada perletakan transduser 10 dan 15 cm.

#### 4.5.1 Hasil Pembacaan Kedalaman Retak Beton (h)

##### 4.5.1.1 Analisis pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 Cm

###### a. Uji Normalitas

Tabel 4. 10

*Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk*

Variasi Perletakan Transduser (b) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
10	0,910	5	0,468
15	0,812	5	0,101

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “*Shapiro Wilk*”, didapatkan hasil nilai signifikansi sebesar 0,468 pada variasi 10 cm dan 0,101 pada variasi 15 cm. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal.

###### b. Uji Homogenitas

Tabel 4. 11

*Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic*

<i>Levene Statistic</i>	df1	df2	Sig.
0,372	1	8	0,559

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “*Lavene’s Test*”, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,559. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,559 > 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa hasil pembacaan dengan variasi perletakan transduser yang dibandingkan sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One Way ANOVA* terpenuhi.



### c. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Tabel 4. 12

Hasil uji ANOVA

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	0,049	1	0,049	0,134	0,724
<i>Within Groups</i>	2,936	8	0,367		
<b>Total</b>	2,985	9			

Sumber : Program SPSS

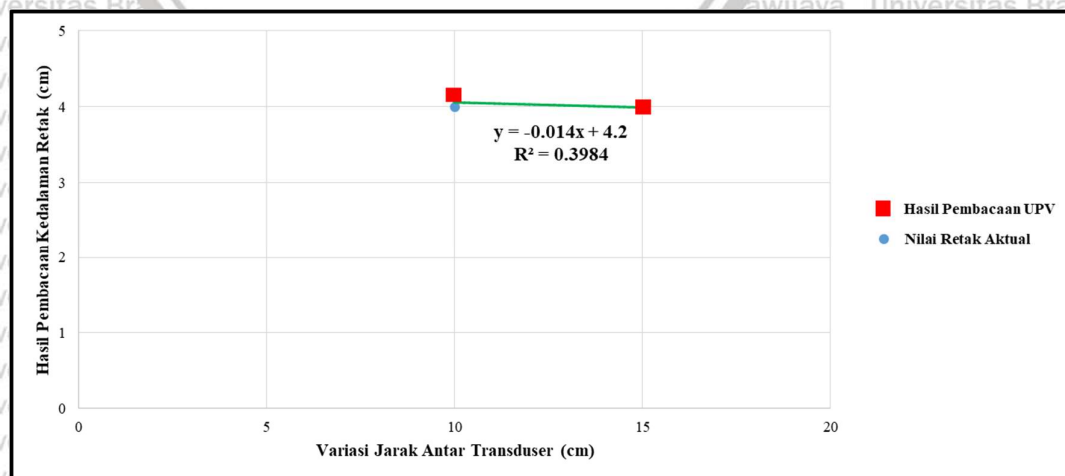
Dasar pengambilan keputusan pada analisis ANOVA yaitu :

1. Jika nilai signifikansi (*Sig.*) > 0,05, maka rata-rata sama.
2. Jika nilai signifikansi (*Sig.*) < 0,05, maka rata-rata berbeda.

Berdasarkan *output* pada program SPSS untuk uji ANOVA diatas, didapatkan nilai signifikansi (*Sig.*) sebesar  $0,724 > 0,05$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata kedua hasil pembacaan terhadap variasi perletakan transduser tersebut tidak berbeda secara signifikan.

### d. Hubungan Variasi Perletakan Transduser terhadap Hasil Pembacaan UPV

Setelah melakukan pengujian UPV, didapatkan hasil pembacaan estimasi variasi kedalaman retak pada beton yang dilakukan pada letak transduser yang bervariasi. Dan untuk mendapatkan hubungan variasi perletakan transduser terhadap hasil pembacaan kedalaman retak dilakukan regresi linear untuk mendapatkan grafik hubungan. Grafik ini juga akan menampilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Apabila nilai  $R^2$  semakin mendekati 1 maka hubungan antar variasi semakin baik.



Gambar 4. 17 Grafik Hubungan Jarak Transduser dengan Pembacaan Kedalaman Retak Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm

Dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.17, semakin kecil jarak transduser maka hasil pembacaan kedalaman retak semakin tidak akurat dan menjauhi garis linear. Dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,3984 maka dapat disimpulkan bahwa hubungan jarak transduser terhadap hasil pembacaan kedalaman retak beton tidak terlalu baik sehingga persamaan regresi tidak dapat digunakan pada setiap variasi perletakan transduser.

#### 4.5.1.2 Analisis pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 Cm

##### a. Uji Normalitas

Tabel 4. 13

*Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk*

Variasi Perletakan Transduser (b) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
10	0,889	5	0,35
15	0,938	5	0,655

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “*Shapiro Wilk*”, didapatkan hasil nilai signifikansi sebesar 0,35 pada variasi 10 cm dan 0,655 pada variasi 15 cm. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal.

##### b. Uji Homogenitas

Tabel 4. 14

*Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic*

<i>Levene Statistic</i>	df1	df2	Sig.
1,003	1	8	0,346

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “*Lavene’s Test*”, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,346. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,346 > 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa hasil pembacaan dengan variasi perletakan transduser yang dibandingkan sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One Way ANOVA* terpenuhi.



### c. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Tabel 4. 15

Hasil uji ANOVA

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	1,521	1	1,521	6272	0,037
<i>Within Groups</i>	1,940	8	0,243		
<b>Total</b>	3,461	9			

Sumber : Program SPSS

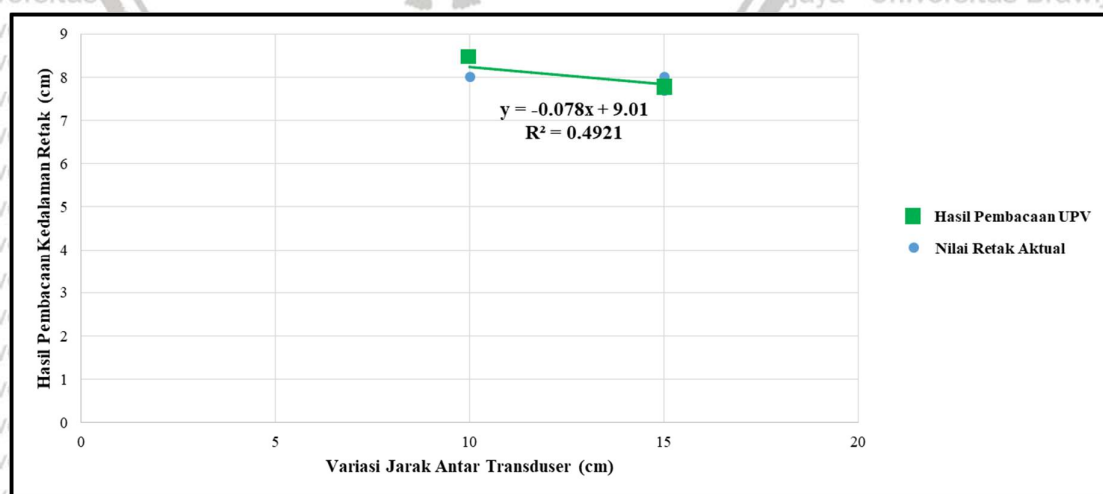
Dasar pengambilan keputusan pada analisis ANOVA yaitu :

1. Jika nilai signifikansi (*Sig.*) > 0,05, maka rata-rata sama.
2. Jika nilai signifikansi (*Sig.*) < 0,05, maka rata-rata berbeda.

Berdasarkan *output* pada program SPSS untuk uji ANOVA diatas, didapatkan nilai signifikansi (*Sig.*) sebesar  $0,037 < 0,05$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata kedua hasil pembacaan terhadap variasi perletakan transduser tersebut berbeda secara signifikan.

### d. Hubungan Variasi Perletakan Transduser terhadap Hasil Pembacaan UPV

Setelah melakukan pengujian UPV, didapatkan hasil pembacaan estimasi variasi kedalaman retak pada beton yang dilakukan pada letak transduser yang bervariasi. Dan untuk mendapatkan hubungan variasi perletakan transduser terhadap hasil pembacaan kedalaman retak dilakukan regresi linear untuk mendapatkan grafik hubungan. Grafik ini juga akan menampilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Apabila nilai  $R^2$  semakin mendekati 1 maka hubungan antar variasi semakin baik.



Gambar 4. 18 Grafik Hubungan Jarak Transduser dengan Pembacaan Kedalaman Retak Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm

Dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.18, semakin kecil jarak transduser maka hasil pembacaan kedalaman retak semakin tidak akurat dan menjauhi garis linear. Dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,4921 maka dapat disimpulkan bahwa hubungan jarak transduser terhadap hasil pembacaan kedalaman retak beton tidak terlalu baik sehingga persamaan regresi tidak dapat digunakan pada setiap variasi perletakan transduser.

#### 4.5.1.3 Analisis pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 Cm

##### a. Uji Normalitas

Tabel 4. 16

*Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk*

Variasi Perletakan Transduser (b) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
10	0,950	5	0,740
15	0,962	5	0,823

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “*Shapiro Wilk*”, didapatkan hasil nilai signifikansi sebesar 0,740 pada variasi 10 cm dan 0,823 pada variasi 15 cm. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal.

##### b. Uji Homogenitas

Tabel 4. 17

*Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic*

<i>Levene Statistic</i>	df1	df2	Sig.
0,334	1	8	0,579

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “*Lavene’s Test*”, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,579. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,579 > 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa hasil pembacaan dengan variasi perletakan transduser yang dibandingkan sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One Way ANOVA* terpenuhi.



### c. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Tabel 4. 18

Hasil uji ANOVA

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	0,144	1	0,144	1986	0,196
<i>Within Groups</i>	0,580	8	0,073		
<b>Total</b>	0,724	9			

Sumber : Program SPSS

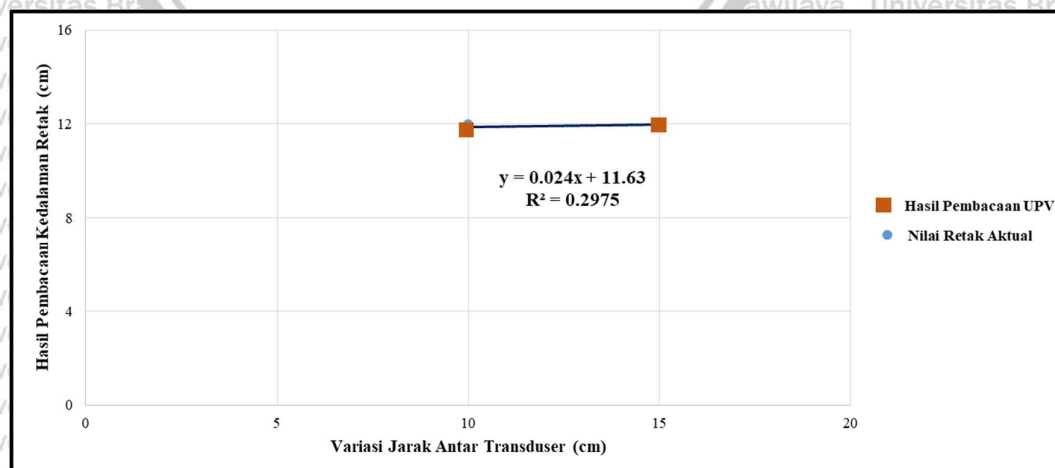
Dasar pengambilan keputusan pada analisis ANOVA yaitu :

1. Jika nilai signifikansi (*Sig.*) > 0,05, maka rata-rata sama.
2. Jika nilai signifikansi (*Sig.*) < 0,05, maka rata-rata berbeda.

Berdasarkan *output* pada program SPSS untuk uji ANOVA diatas, didapatkan nilai signifikansi (*Sig.*) sebesar  $0,196 > 0,05$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa rata-rata kedua hasil pembacaan terhadap variasi perletakan transduser tersebut tidak berbeda secara signifikan.

### d. Hubungan Variasi Perletakan Transduser terhadap Hasil Pembacaan UPV

Setelah melakukan pengujian UPV, didapatkan hasil pembacaan estimasi variasi kedalaman retak pada beton yang dilakukan pada letak transduser yang bervariasi. Dan untuk mendapatkan hubungan variasi perletakan transduser terhadap hasil pembacaan kedalaman retak dilakukan regresi linear untuk mendapatkan grafik hubungan. Grafik ini juga akan menampilkan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ). Apabila nilai  $R^2$  semakin mendekati 1 maka hubungan antar variasi semakin baik.



Gambar 4. 19 Grafik Hubungan Jarak Transduser dengan Pembacaan Kedalaman Retak Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm

Dapat dilihat pada grafik pada gambar 4.19, semakin kecil jarak transduser maka hasil pembacaan kedalaman retak semakin tidak akurat dan menjauhi garis linear. Dengan nilai  $R^2$  sebesar 0,2975 maka dapat disimpulkan bahwa hubungan jarak transduser terhadap hasil pembacaan kedalaman retak beton tidak terlalu baik sehingga persamaan regresi tidak dapat digunakan pada setiap variasi perletakan transduser.

## 4.5.2 Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ ) dan Kedua ( $t_2$ )

### 4.5.2.1 Analisis Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ ) terhadap Variasi

#### Perletakan Transduser

##### a. Uji Normalitas dan Homogenitas

Tabel 4. 19

Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 10 cm

Variasi Kedalaman Retak (h) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
4	0,842	5	0,171
8	0,980	5	0,936
12	0,911	5	0,476

Sumber : Program SPSS

Tabel 4. 20

Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 10 cm

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
4,981	2	12	0,027

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “Shapiro Wilk” pada perletakan transduser 10 cm, didapatkan hasil nilai signifikansi pada seluruh variasi yang berkisar antara 0,171–0,936. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal. Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “Laveine’s Test”, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,027. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,027 < 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) pada variasi perletakan transduser 10 cm dengan variasi kedalaman retak yang dibandingkan berbeda atau heterogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One Way* ANOVA tidak terpenuhi.



Tabel 4. 21

Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 15 cm

Variasi Kedalaman Retak (h) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
4	0,813	5	0,102
8	0,904	5	0,431
12	0,887	5	0,342

Sumber : Program SPSS

Tabel 4. 22

Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 15 cm

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0,105	2	12	0,901

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “*Shapiro Wilk*” pada perletakan transduser 15 cm, didapatkan hasil nilai signifikansi pada seluruh variasi yang berkisar antara 0,102–0,431. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal. Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “*Lavene’s Test*”, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,901. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,901 > 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) pada variasi perletakan transduser 15 cm dengan variasi kedalaman retak yang dibandingkan sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One Way* ANOVA terpenuhi.

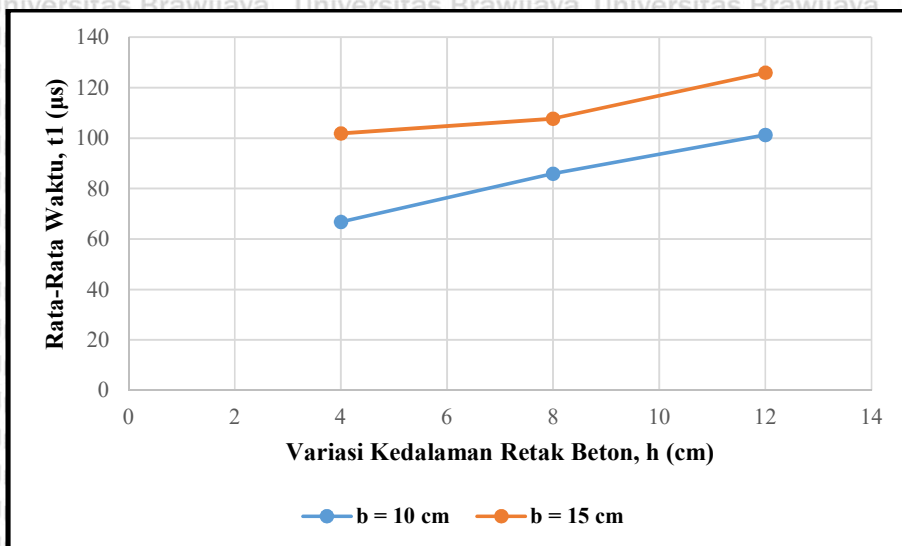
#### b. Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ )

Tabel 4. 23

Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ )

Variasi Perletakan Transduser, b (cm)	Variasi Kedalaman Retak, h (cm)	Jumlah Data, N	Rata- Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama, $t_1$ ( $\mu$ s)
10	4	5	66,82
	8	5	85,86
	12	5	101,3
15	4	5	101,9
	8	5	107,76
	12	5	126,02

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. 20 Grafik Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama ( $t_1$ )

Dapat dilihat pada gambar 4.20, waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) pada perletakan transduser 5 cm memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan besarnya kedalaman retak pada beton. Hal tersebut juga berlaku pada perletakan transduser 10 dan 15 cm. Sehingga dapat disimpulkan bahwa semakin besar kedalaman retak pada beton maka waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) semakin besar.

#### c. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Analisis uji *one way* anova hanya dilakukan pada hasil pengujian dengan perletakan transduser 15 cm. Hal tersebut disebabkan oleh data waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) dari pengujian UPV pada perletakan transduser 5 dan 10 cm yang berbeda atau heterogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *one way* anova pada perletak transduser 5 dan 10 cm tidak terpenuhi.

Dasar pengambilan keputusan pada analisis ANOVA yaitu :

1. Jika nilai signifikansi (Sig.)  $\geq 0,05$ , maka rata-rata sama.
2. Jika nilai signifikansi (Sig.)  $< 0,05$ , maka rata-rata berbeda.

Tabel 4. 24

Hasil uji ANOVA pada Perletakan Transduser 15 cm

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1582,569	2	791,285	60,373	0,000
Within Groups	157,280	12	13,107		
Total	1739,849	14			

Sumber : Program SPSS



Berdasarkan *output* pada program SPSS untuk uji ANOVA diatas, didapatkan nilai signifikansi (Sig.) sebesar  $0,000 < 0,05$ , sehingga secara keseluruhan waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) pada variasi perletakan transduser 15 cm dengan variasi kedalaman retak yang dibandingkan berbeda secara signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi kedalaman retak berpengaruh terhadap waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ).

#### 4.5.2.2 Analisis Waktu Transmisi Gelombang Kedua ( $t_2$ ) terhadap Variasi Perletakan Transduser

##### a. Uji Normalitas dan Homogenitas

Tabel 4. 25

*Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 10 cm*

Variasi Kedalaman Retak (h) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
4	0,936	5	0,635
8	0,967	5	0,857
12	0,933	5	0,620

Sumber : Program SPSS

Tabel 4. 26

*Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 10 cm*

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
3,643	2	12	0,058

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “*Shapiro Wilk*” pada perletakan transduser 10 cm, didapatkan hasil nilai signifikansi pada seluruh variasi yang berkisar antara 0,620–0,857. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal. Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “*Lavene’s Test*” diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,058. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,058 > 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa waktu transmisi gelombang kedua ( $t_2$ ) pada variasi perletakan transduser 10 cm dengan variasi kedalaman retak yang dibandingkan sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *One Way* ANOVA terpenuhi.

Tabel 4. 27

Uji Normalitas dengan metode Shapiro-Wilk pada Perletakan Transduser 15 cm

Variasi Kedalaman Retak (h) (cm)	Shapiro-Wilk		
	Statistic	df	Sig.
4	0,714	5	0,057
8	0,957	5	0,784
12	0,783	5	0,058

Sumber : Program SPSS

Tabel 4. 28

Hasil uji homogenitas dengan metode Levene Statistic pada Perletakan Transduser 15 cm

Levene Statistic	df1	df2	Sig.
0,209	2	12	0,814

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan output SPSS menggunakan metode “Shapiro Wilk” pada perletakan transduser 15 cm, didapatkan hasil nilai signifikansi pada seluruh variasi yang berkisar antara 0,057–0,784. Karena hasil seluruh nilai signifikansi yang didapatkan lebih dari 0,05 maka didapatkan kesimpulan bahwa data berdistribusi dengan normal. Berdasarkan output pada program SPSS terhadap pengujian homogenitas menggunakan metode “Lavene’s Test”, diperoleh nilai signifikansi (Sig.) sebesar 0,814. Karena nilai signifikansi yang diperoleh sebesar  $0,814 > 0,05$ , maka dapat disimpulkan bahwa waktu transmisi gelombang kedua ( $t_2$ ) pada variasi perletakan transduser 15 cm dengan variasi kedalaman retak yang dibandingkan sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji One Way ANOVA terpenuhi.

#### b. Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Kedua ( $t_2$ )

Tabel 4. 29

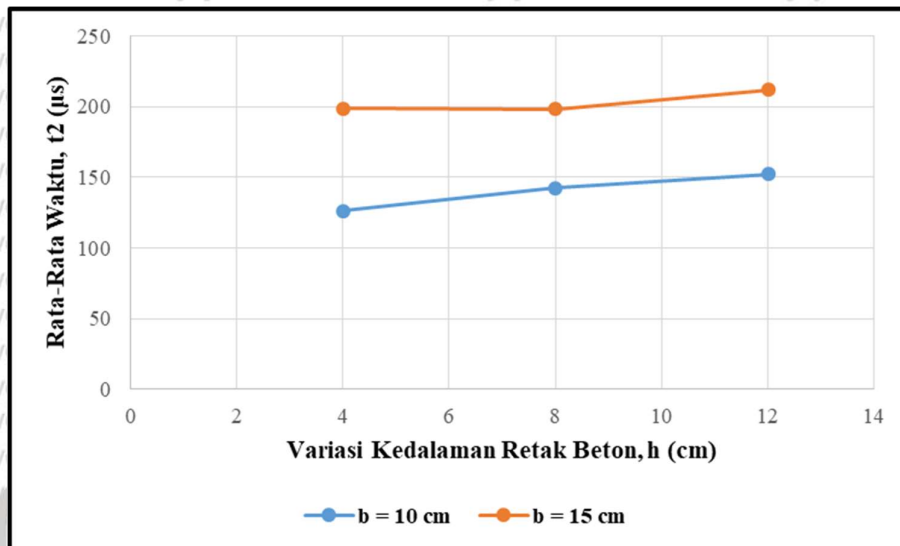
Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Kedua ( $t_2$ )

Variasi Perletakan Transduser, b (cm)	Variasi Kedalaman Retak, h (cm)	Jumlah Data, N	Rata- Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama, $t_1$ ( $\mu$ s)
5	4	5	64,48
	8	5	91,24
	12	5	102,56
10	4	5	126,14
	8	5	142,38
	12	5	152,34
15	4	5	198,66
	8	5	198



Variasi Perletakan Transduser, b (cm)	Variasi Kedalaman Retak, h (cm)	Jumlah Data, N	Rata- Rata Waktu Transmisi Gelombang Pertama, t <sub>1</sub> (μs)
	12	5	211,94

Sumber: Hasil Penelitian



Gambar 4. 21 Grafik Rata-Rata Waktu Transmisi Gelombang Kedua (t<sub>2</sub>)

Dapat dilihat pada gambar 4.21, waktu transmisi gelombang kedua (t<sub>2</sub>) pada perletakan transduser 5 dan 10 cm memiliki nilai yang semakin besar seiring dengan besarnya kedalaman retak pada beton. Namun hal tersebut tidak berlaku pada perletakan transduser 15 cm. waktu transmisi gelombang kedua pada kedalaman retak 8 cm lebih kecil dibandingkan dengan kedalaman retak 4 cm. Hal tersebut disebabkan oleh kuat tekan beton pada kedalaman retak 8 cm lebih tinggi dibandingkan kedalaman retak 4 cm, yaitu sebesar 29,6 MPa. Sehingga gelombang dapat merambat lebih cepat pada beton dengan kedalaman retak 8 cm.

### c. Uji ANOVA (*Analysis of Variance*)

Analisis uji *one way* anova dilakukan pada hasil pengujian dengan perletakan transduser 5, 10, dan 15 cm. Karena data waktu transmisi gelombang kedua (t<sub>2</sub>) dari pengujian UPV pada masing-masing variasi perletakan yang sama atau homogen. Sehingga asumsi homogenitas dalam uji *one way* anova pada masing-masing variasi perletakan dapat terpenuhi.

Dasar pengambilan keputusan pada analisis ANOVA yaitu :

1. Jika nilai signifikansi (Sig.) > 0,05, maka rata-rata sama.
2. Jika nilai signifikansi (Sig.) < 0,05, maka rata-rata berbeda.

Tabel 4. 30

Hasil uji ANOVA pada Perletakan Transduser 10 cm

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	1748,965	2	874,483	38,578	0,000
<i>Within Groups</i>	272,012	12	22,668		
<b>Total</b>	2020,977	14			

Sumber : Program SPSS

Tabel 4. 31

Hasil uji ANOVA pada Perletakan Transduser 15 cm

	<i>Sum of Squares</i>	<i>df</i>	<i>Mean Square</i>	<i>F</i>	<i>Sig.</i>
<i>Between Groups</i>	618,529	2	309,265	8,246	0,006
<i>Within Groups</i>	450,044	12	37,504		
<b>Total</b>	1068,573	14			

Sumber : Program SPSS

Berdasarkan *output* pada program SPSS untuk uji ANOVA dengan variasi perletakan transduser diatas, didapatkan nilai signifikansi (*Sig.*) sebesar 0,000 – 0,006. Karena semua nilai signifikansi lebih besar dari 0,05, maka secara keseluruhan waktu transmisi gelombang kedua (*t2*) pada masing-masing variasi perletakan transduser dengan variasi kedalaman retak yang dibandingkan berbeda secara signifikan. Sehingga dapat disimpulkan bahwa seluruh variasi kedalaman retak berpengaruh terhadap waktu transmisi gelombang kedua (*t2*).



## BAB V

### PENUTUP

#### 5.1 Kesimpulan

Dari penelitian yang sudah dilakukan, dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil pembacaan kedalaman retak oleh UPV dengan perhitungan metode BS 1881 terhadap beton tidak bertulang dengan kedalaman retak (h) sebesar 4 cm dengan variasi perletakan transduser (b) pada jarak 5 cm, 10 cm, maupun 15 cm sama persis dengan perhitungan empiris kedalaman retak dengan metode BS 1881. Dan hasil pembacaan pada setiap variasi perletakan transduser tidak memiliki perbedaan yang signifikan. Namun semakin kecil jarak antar transduser, nilai yang dihasilkan pada hasil pembacaan semakin tidak akurat. Hal ini dapat diketahui dari nilai kesalahan relatif pada rata – rata hasil pengujian dengan variasi perletakan transduser. Sehingga dapat diketahui bahwa perhitungan dengan metode BS 1881 pada perletakan transduser 15 cm paling efektif untuk dilakukan pada beton tidak bertulang dengan kedalaman retak 4 cm dengan nilai kesalahan relatif sebesar 0,5%.
2. Hasil pembacaan kedalaman retak oleh UPV dengan perhitungan metode BS 1881 terhadap beton tidak bertulang pada kedalaman retak (h) sebesar 8 cm dengan variasi perletakan transduser (b) pada jarak 5 cm, 10 cm, maupun 15 cm sama persis dengan perhitungan empiris kedalaman retak dengan metode BS 1881. Dan hasil pembacaan kedalaman retak pada jarak transduser 5 cm memiliki hasil yang berbeda secara signifikan terhadap hasil pembacaan pada jarak transduser 10 cm dan 15 cm. Namun semakin kecil jarak antar transduser, nilai yang dihasilkan pada hasil pembacaan semakin tidak akurat. Hal ini dapat diketahui dari nilai kesalahan relatif pada rata – rata hasil pengujian dengan variasi perletakan transduser. Sehingga dapat diketahui bahwa perhitungan dengan metode BS 1881 pada perletakan transduser 15 cm paling efektif untuk dilakukan pada beton tidak bertulang dengan kedalaman retak 8 cm dengan nilai kesalahan relatif sebesar 4%.
3. Hasil pembacaan kedalaman retak oleh UPV dengan perhitungan metode BS 1881 terhadap beton tidak bertulang pada kedalaman retak (h) sebesar 12 cm dengan variasi perletakan transduser (b) pada jarak 5 cm, 10 cm, maupun 15 cm sama persis dengan



perhitungan empiris kedalaman retak dengan metode BS 1881. Dan hasil pembacaan kedalaman retak pada jarak transduser 5 cm memiliki hasil yang berbeda secara signifikan terhadap hasil pembacaan pada jarak transduser 10 cm dan 15 cm. Namun semakin kecil jarak antar transduser, nilai yang dihasilkan pada hasil pembacaan semakin tidak akurat. Hal ini dapat diketahui dari nilai kesalahan relatif pada rata-rata hasil pengujian dengan variasi perletakan transduser. Sehingga dapat diketahui bahwa perhitungan dengan metode BS 1881 pada perletakan transduser 15 cm paling efektif untuk dilakukan pada beton tidak bertulang dengan kedalaman retak 12 cm dengan nilai kesalahan relatif sebesar 0,17%.

4. Secara keseluruhan, variasi perletakan transduser dan variasi kedalaman retak pada beton berpengaruh terhadap waktu transmisi gelombang pertama ( $t_1$ ) dan kedua ( $t_2$ ). Dari hasil pengujian didapatkan bahwa waktu transmisi gelombang pertama dan kedua memiliki perbedaan yang cukup signifikan karena jarak lintasan gelombang akan semakin besar seiring dengan jarak perletakan transduser yang semakin besar. Dan pada hasil pengujian secara keseluruhan didapatkan pengaruh variasi kedalaman retak terhadap waktu transmisi gelombang dimana semakin besar kedalaman retak maka waktu transmisi gelombang yang dihasilkan juga akan semakin besar.

## 5.2 Saran

Berdasarkan penelitian variasi kedalaman retak terhadap beton tidak bertulang dengan variasi perletakan transduser menggunakan alat UPV, terdapat saran yang dapat digunakan pada penelitian selanjutnya, yaitu :

1. Diperlukan penambahan variasi perletakan transduser pada jarak antara 10 cm dan 15 cm, serta lebih besar dari 15 cm sehingga dapat memperluas sebaran data agar regresi dan korelasi yang didapatkan dapat digunakan pada setiap variasi.
2. Diperlukan jenis benda uji beton bertulang untuk mengetahui apakah ada pengaruh pembacaan kedalaman retak oleh UPV antara beton bertulang dan tidak bertulang.
3. Diperlukan jenis keretakan miring pada benda uji untuk mengetahui apakah pengujian UPV dapat mengidentifikasi beton yang mengalami keretakan miring.
4. Diperlukan kontrol terhadap komposisi material dan proses pencampuran beton yang lebih baik agar didapatkan keseragaman beton yang telah direncanakan.
5. Memanfaatkan fitur *Amplitude Marker* dari alat PUNDIT PL-200 pada pengaturan *voltage* dan *gain* agar kehilangan energi pada gelombang dapat diatasi saat melakukan pengujian UPV.



## DAFTAR PUSTAKA

- British Standard*. (1986). *BS 1881 Part 203 : Recommendations for Measurement of Velocity of Ultrasonic Pulses in Concrete*. United Kingdom : *British Standard*.
- ACI. (1992). *American Concrete Institute Committee Reports 224*. Detroit : *American Concrete Institute*.
- Carino, N.J. & Malhora, V.M. (2004). *Handbook On Nondestructive Testing of Concrete*. Boca Raton: RCR Press.
- Saputra, Teguh Dwi, Budio, Sugeng Prayitno., & Waluyohadi, Indra. *Investigasi Rongga dan Kedalaman Retak pada Balok Beton dengan UPE dan UPV*. Malang : Universitas Brawijaya.
- PROCEQ. (2014). *Pundit PL-200 and PE Ultrasonic Training*. Switzerland: Proceq.
- PROCEQ. (2015). *Pundit PL-200 Operating Instructions*. Switzerland: Proceq.
- Herlambang, Fajar Surya. & Setyono, Evin Yudhi. (2017). *Pengaruh Jarak Transducer dan Tulangan pada Pengukuran Kedalaman Retak Beton Menggunakan Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*.. Bali : Politeknik Negeri Bali.
- Bachaqi. (2019). *Experimental Study of Crack Depth Measurement of Concrete with Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)*. Banten : *University of Sultan Ageng Tirtayasa*.
- Uyanik, Mehmet Emin. (2019). *An Investigation of Non-destructive Testing Techniques for Concrete Structures*. Birmingham : *The University of Birmingham*.
- Linggasari, Dewi. (2019). *Memperkirakan Kedalaman Retak Pada Beton Menggunakan Gelombang Ultrasonik*. Jurnal Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanegara. Jakarta : Universitas Tarumanegara.
- University, Tottori. Method of Measuring Crack Depth of Concrete uses Ultrasonic*. Japan : Tottori University.
- Wibowo, Ari., Suseno, Hendro., Hasyim, M. Hamzah., Martin, Roland., Remayanti, Christin. & Prima, Ardian. *Crack Depth Measurement of Reinforced Concrete Beams Using UPV*. Malang : Universitas Brawijaya.

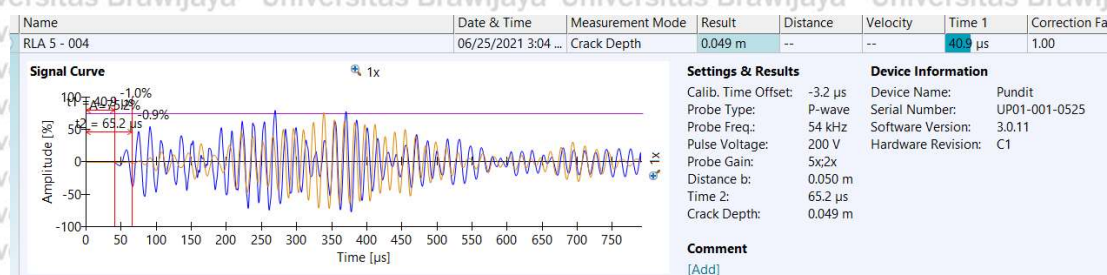
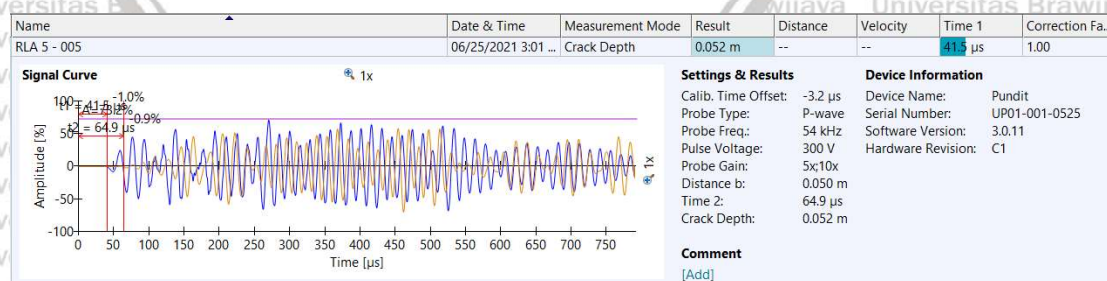
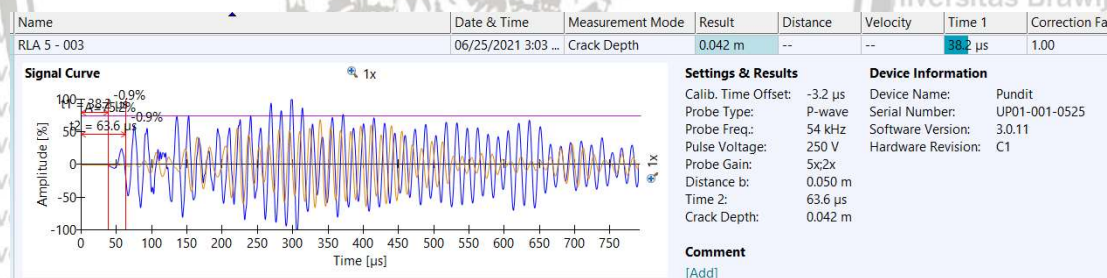
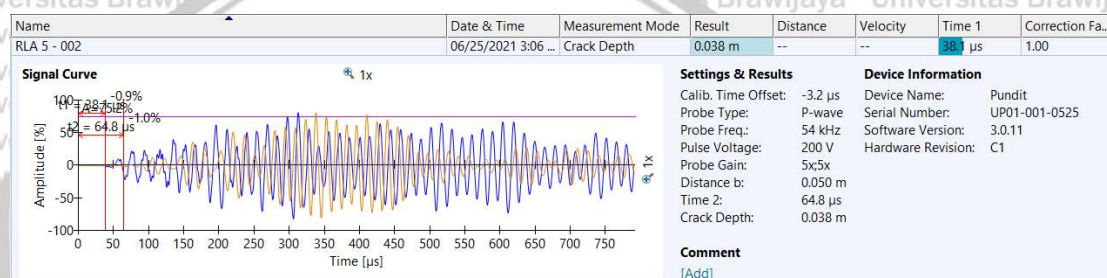
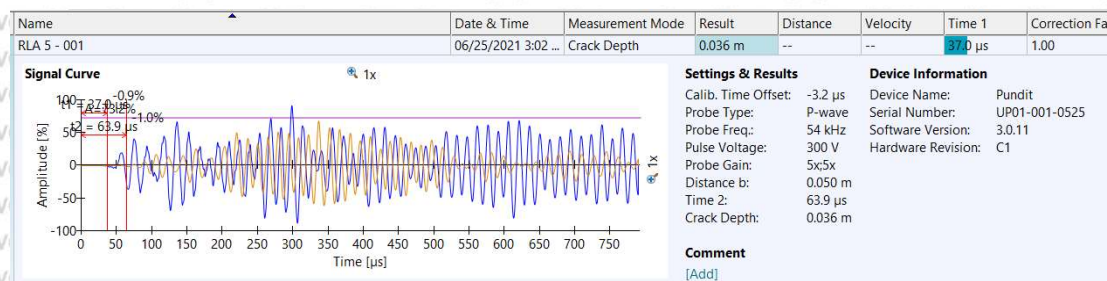
Halaman ini sengaja dikosongkan



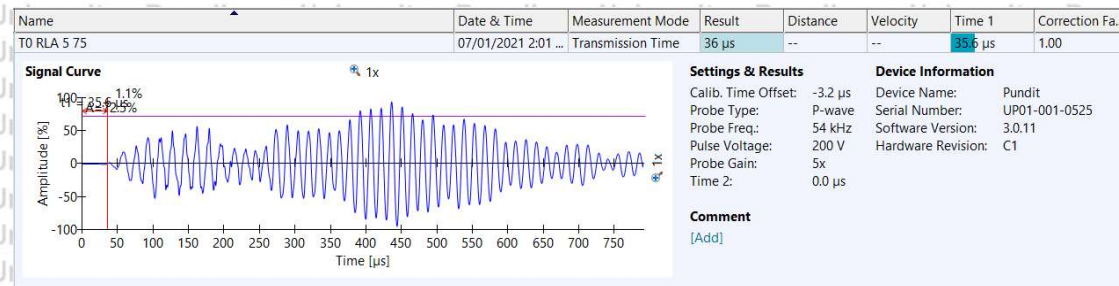


## LAMPIRAN

### Lampiran 1. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 5 cm

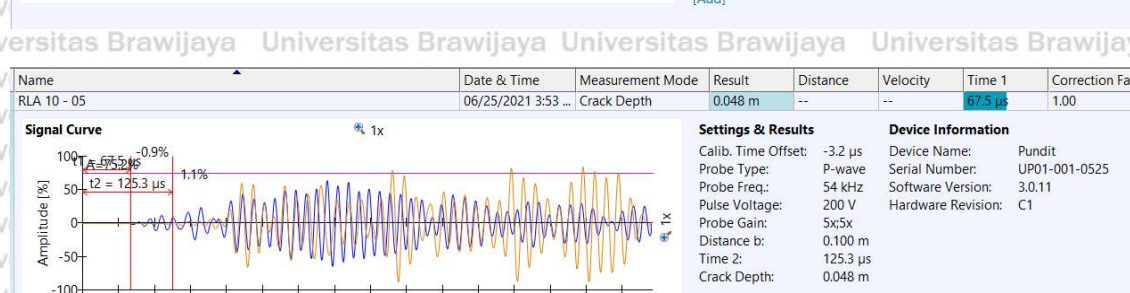
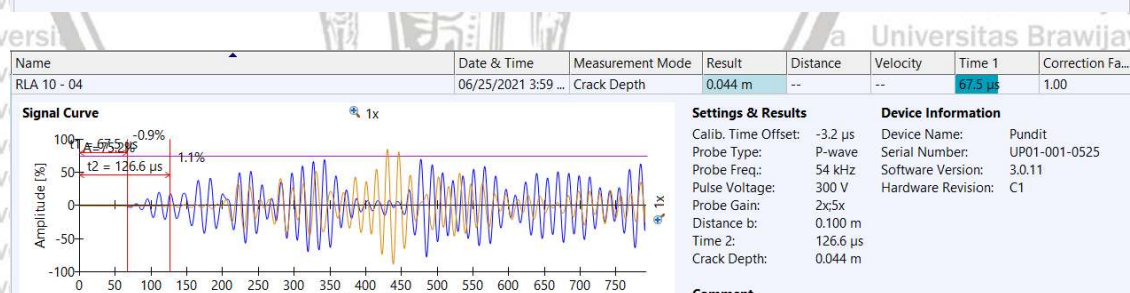
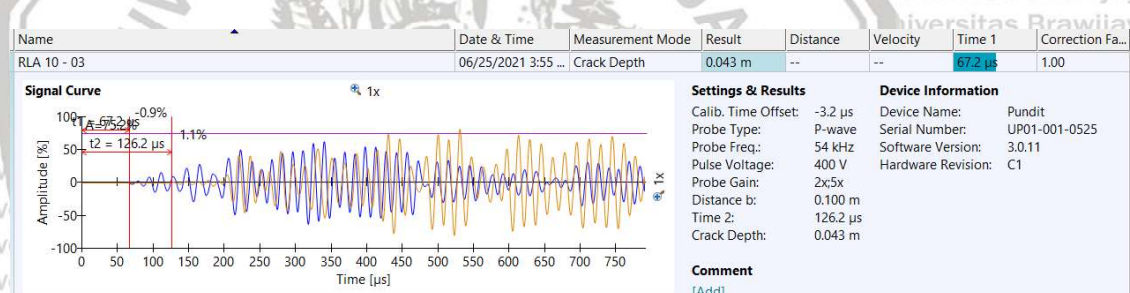
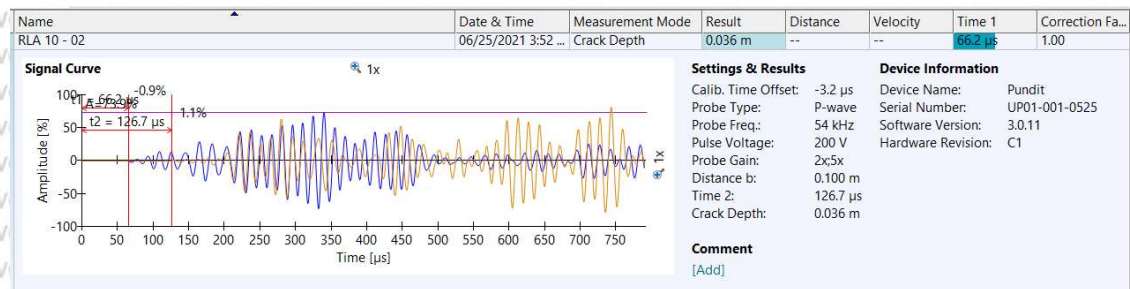
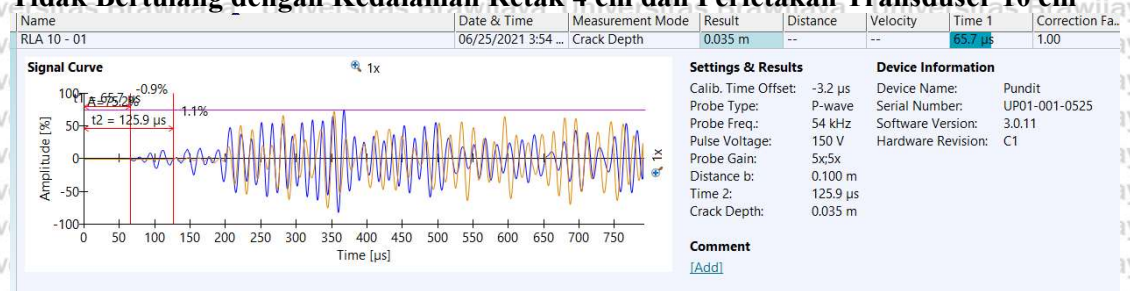


## Lampiran 2. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 5 cm

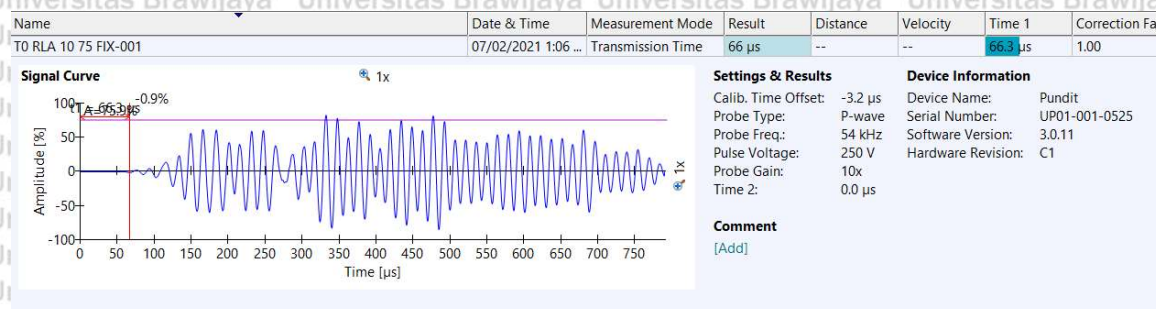




### Lampiran 3. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 10 cm

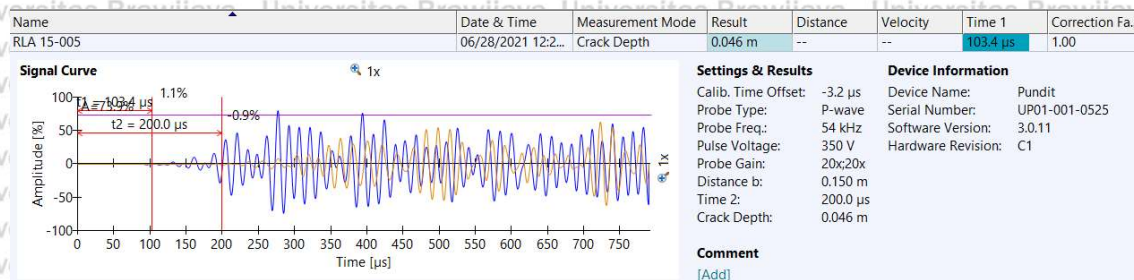
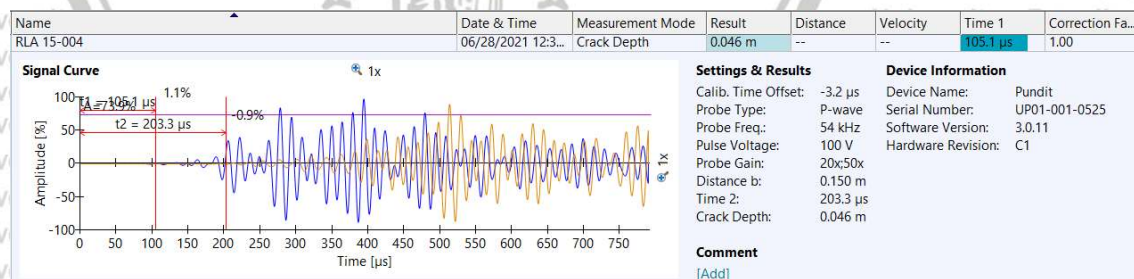
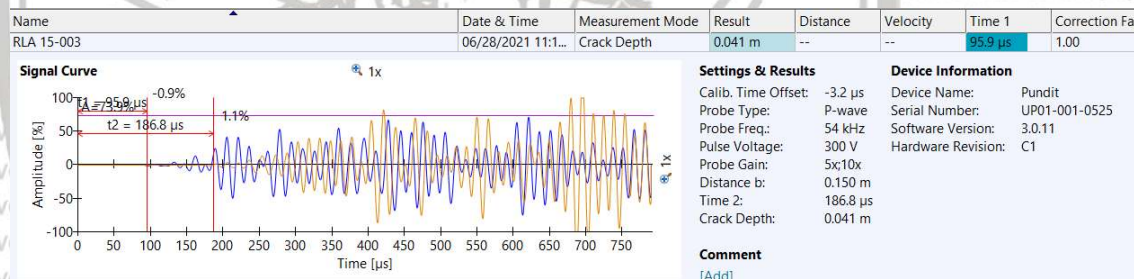
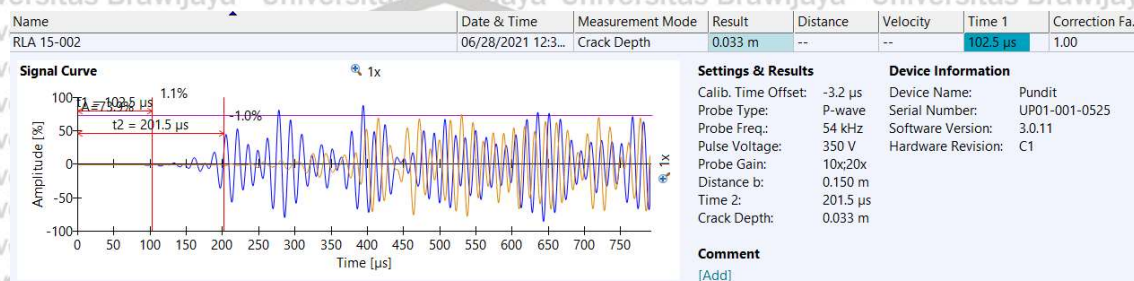
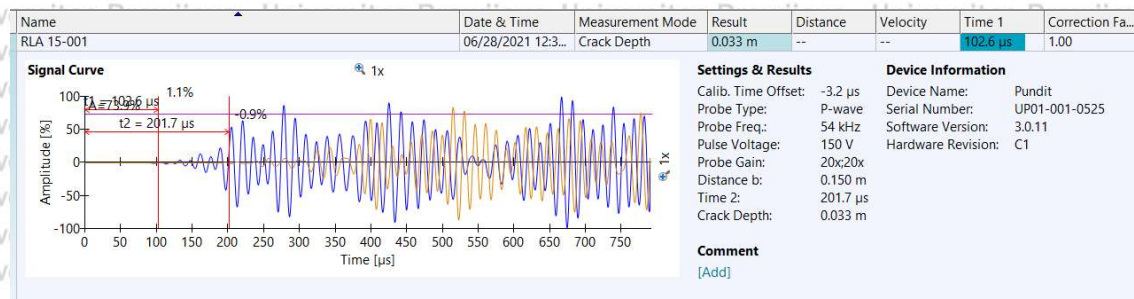


# Lampiran 4. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 10 cm

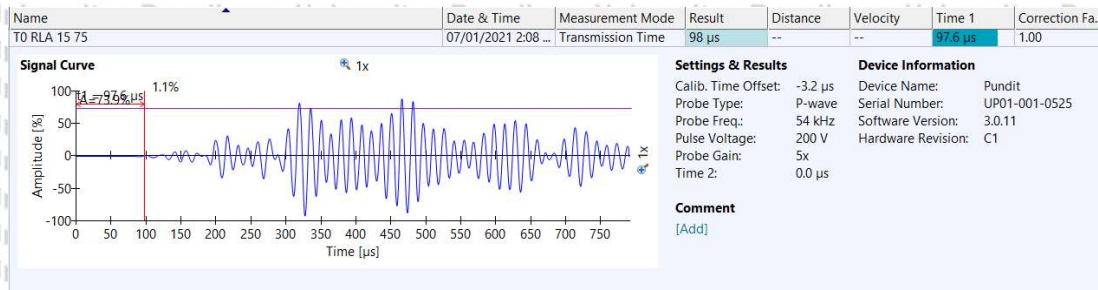




## Lampiran 5. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 15 cm

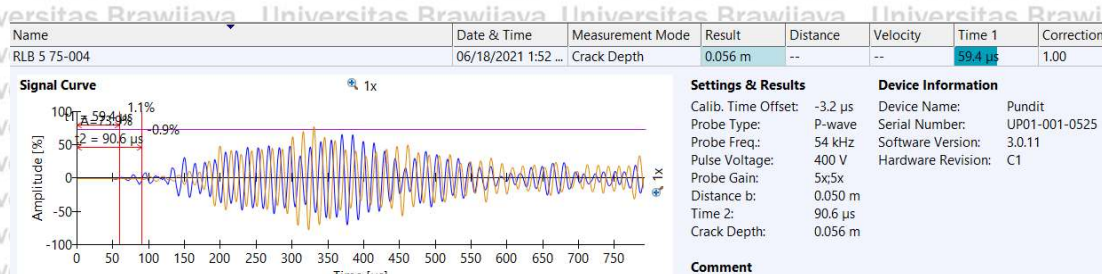
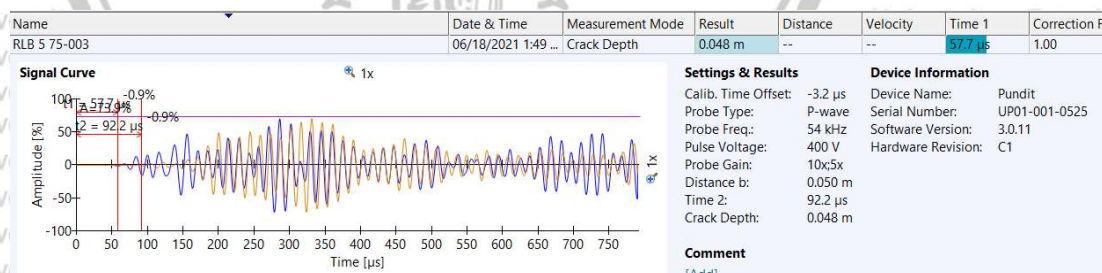
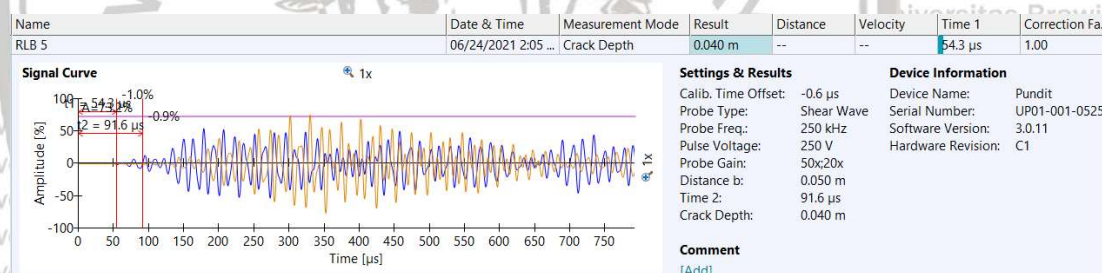
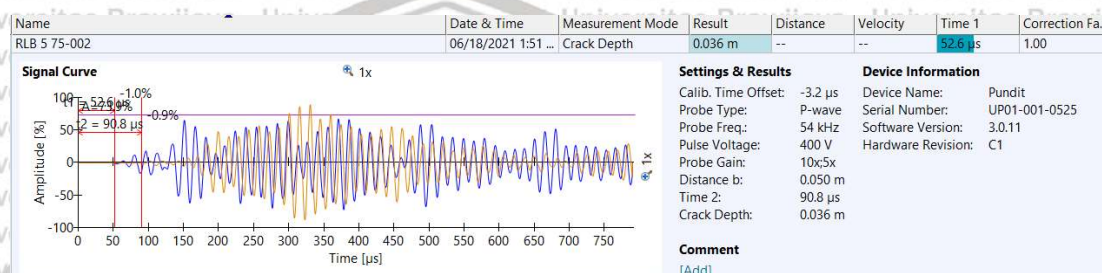
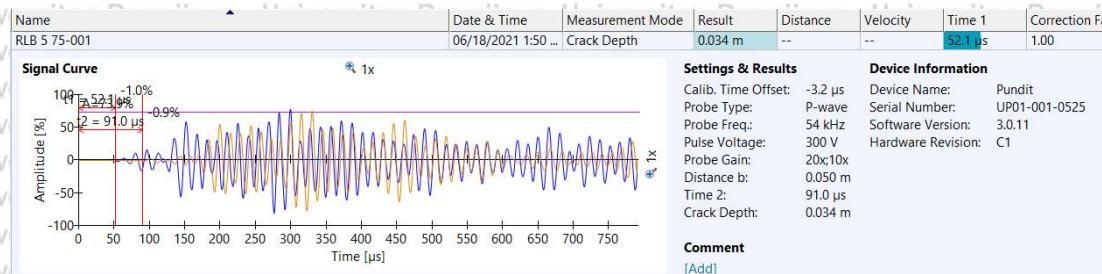


## Lampiran 6. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 4 cm dan Perletakan Transduser 15 cm

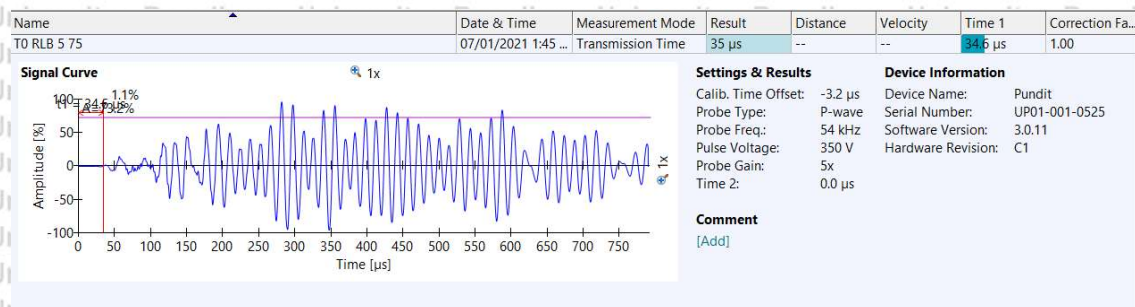




## Lampiran 7. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 5 cm

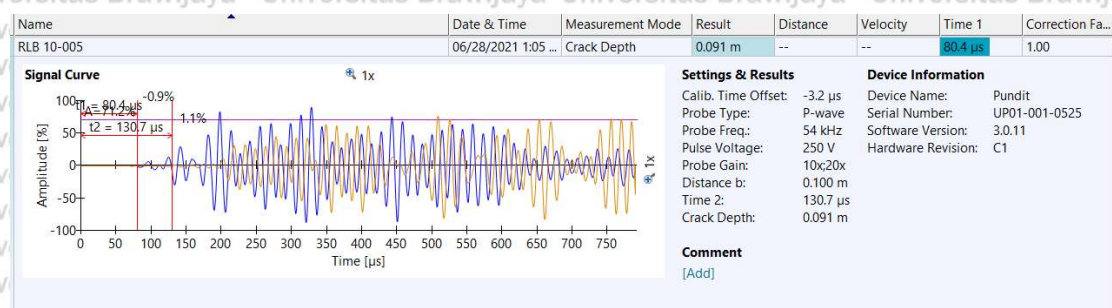
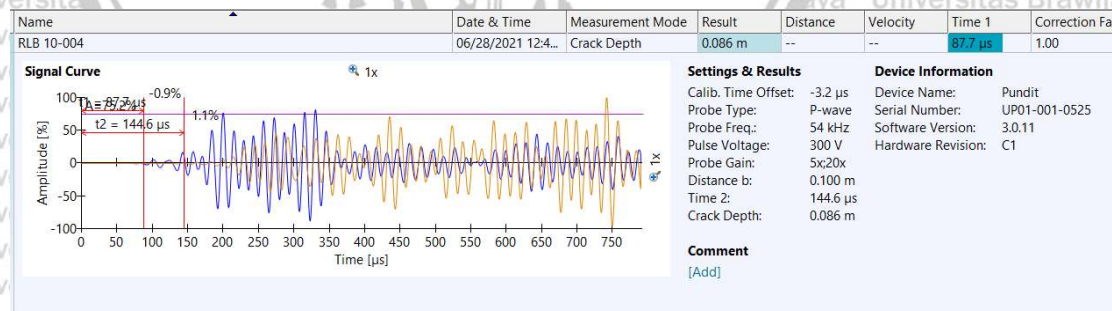
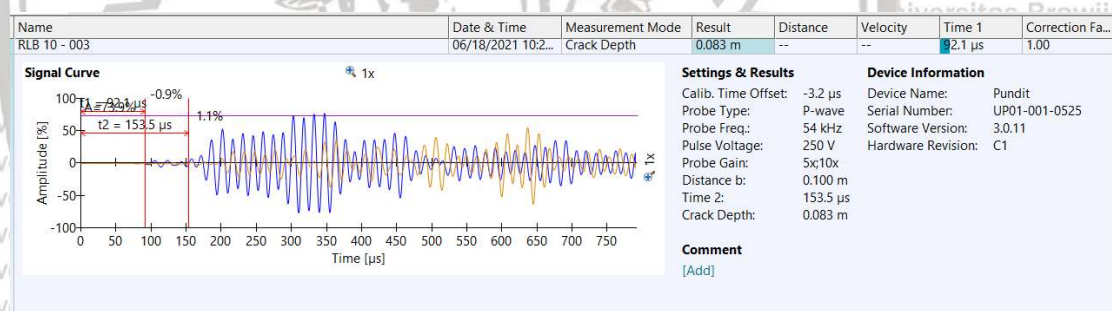
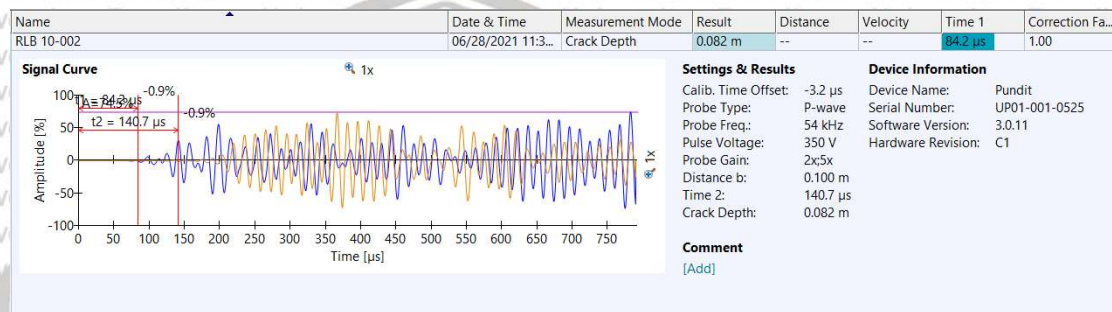
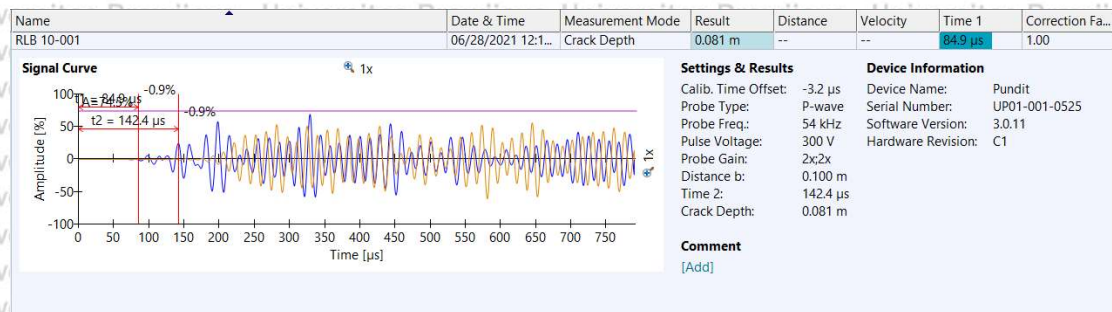


# Lampiran 8. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 5 cm

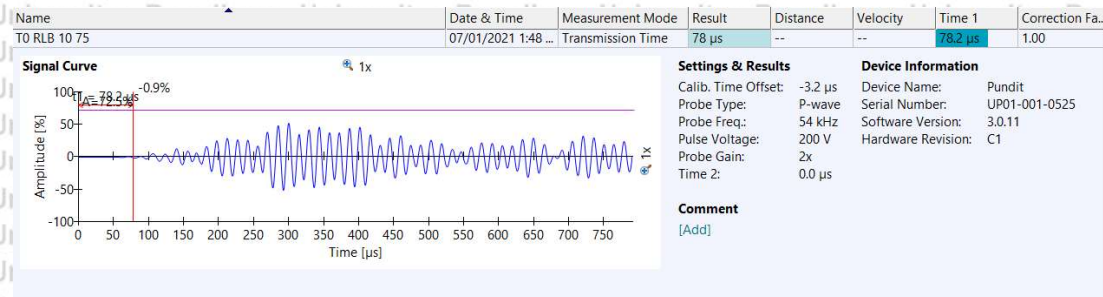




## Lampiran 9. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 10 cm

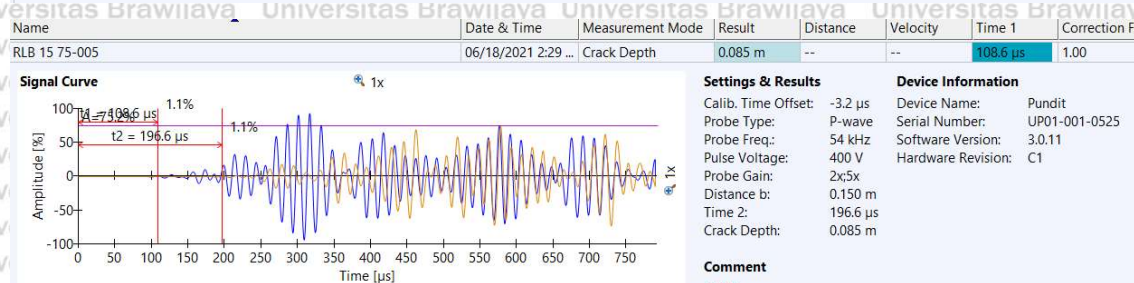
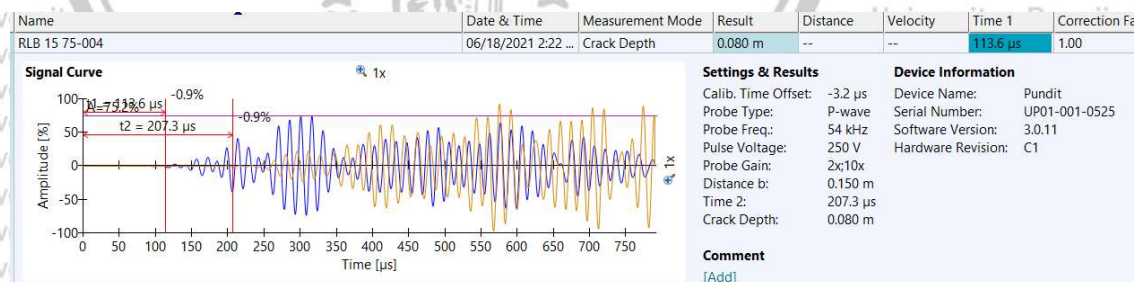
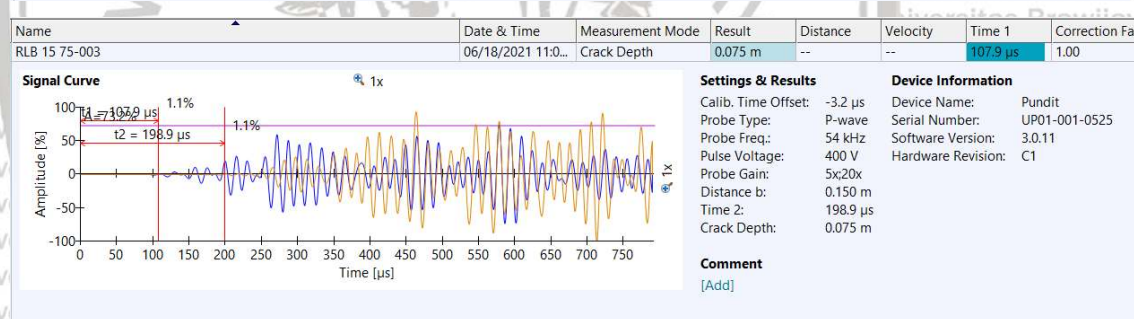
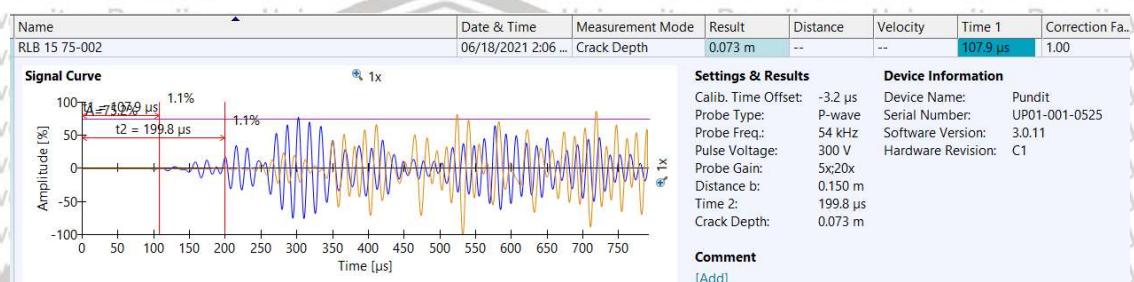
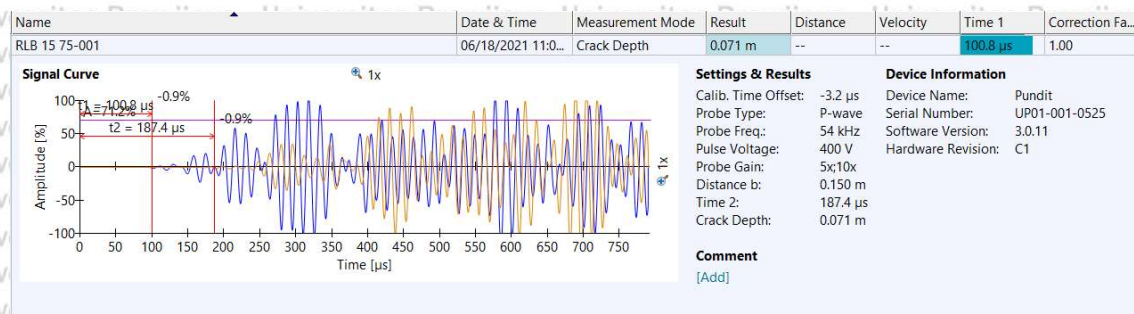


### Lampiran 10. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Transmission Time' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 10 cm

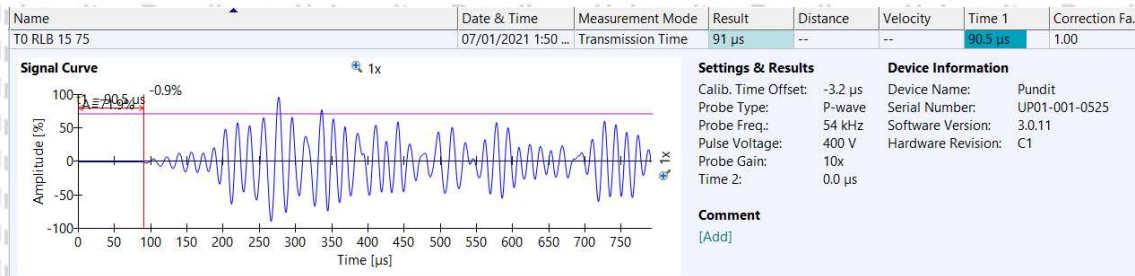




## Lampiran 11. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 15 cm

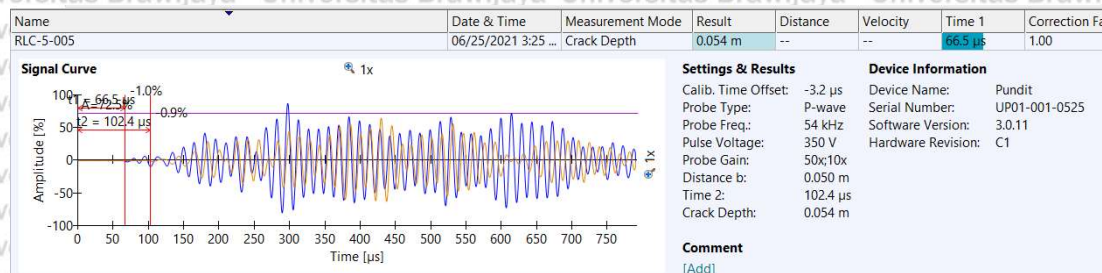
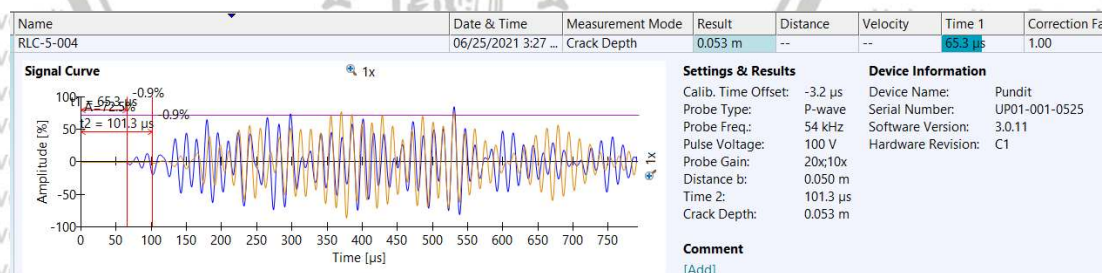
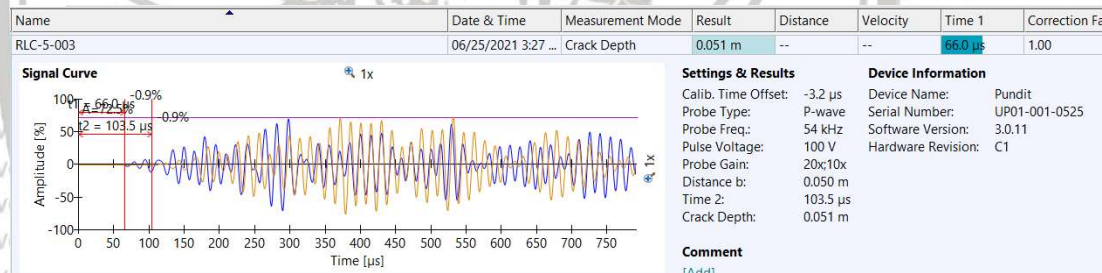
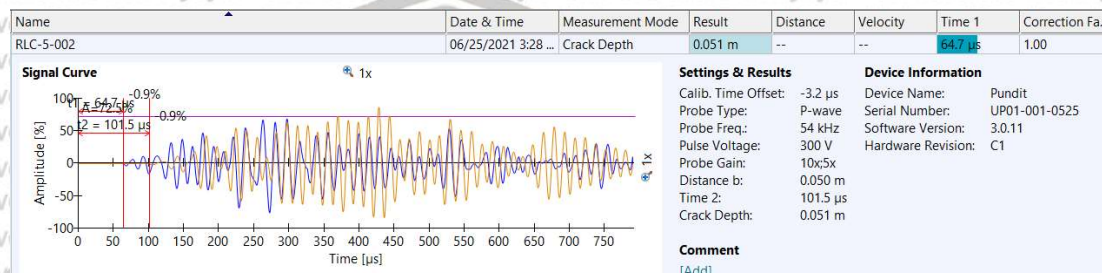
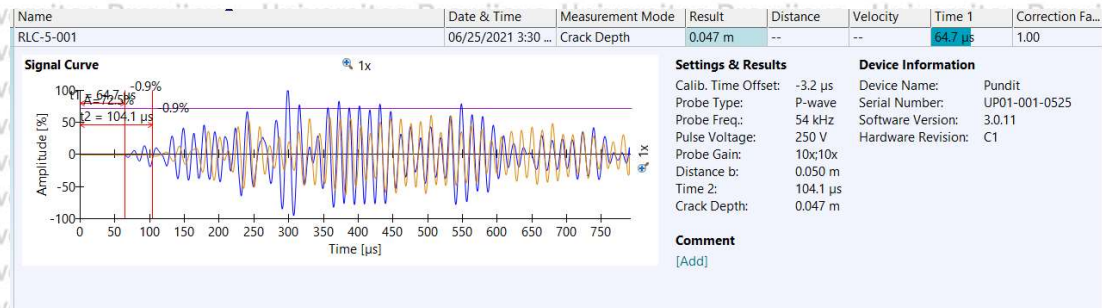


## Lampiran 12. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Transmission Time' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 8 cm dan Perletakan Transduser 15 cm

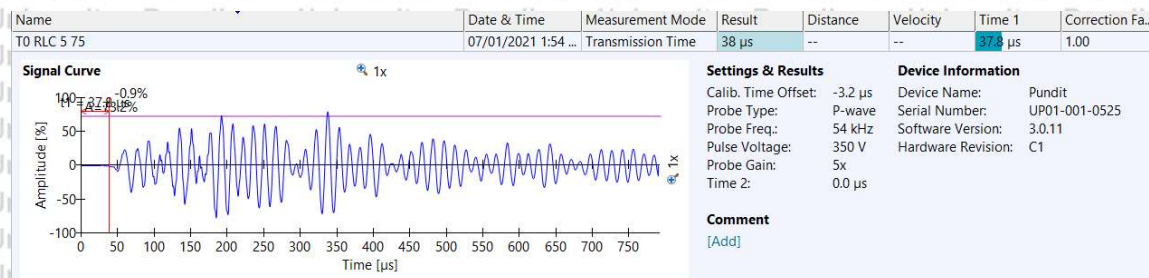




### Lampiran 13. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 5 cm

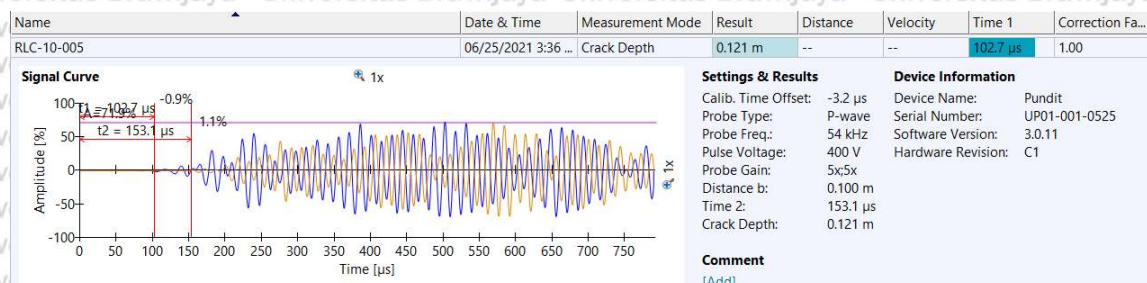
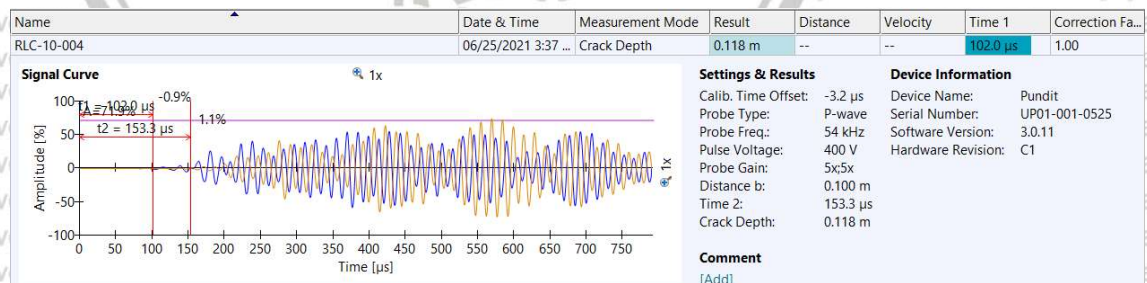
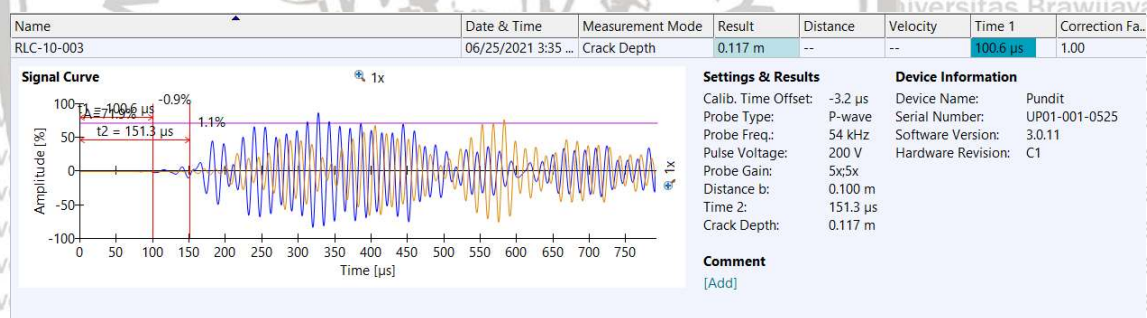
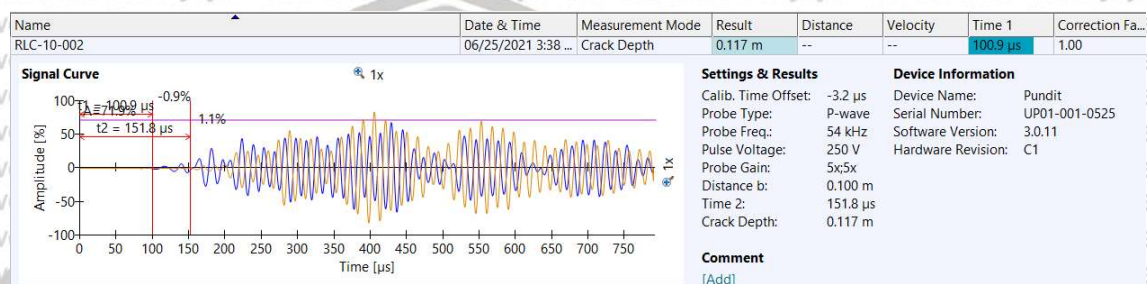
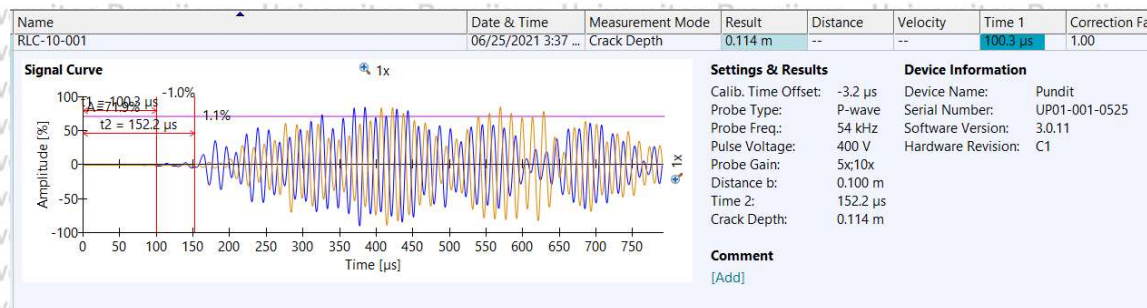


# Lampiran 14. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 5 cm

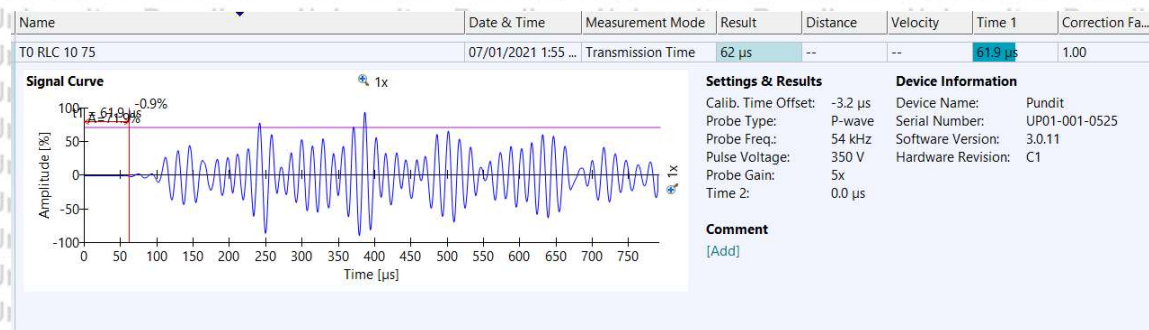




## Lampiran 15. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 10 cm

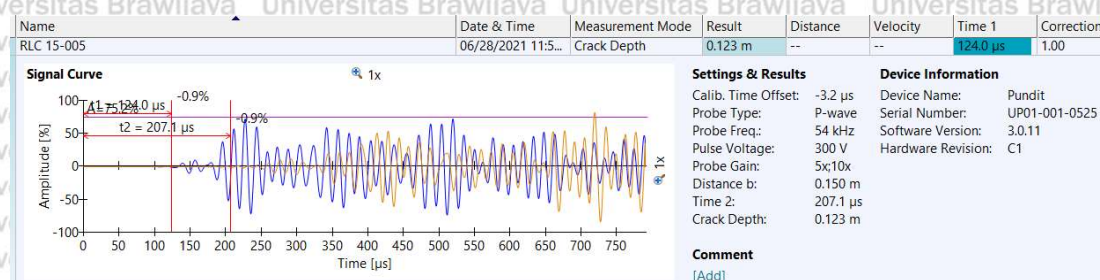
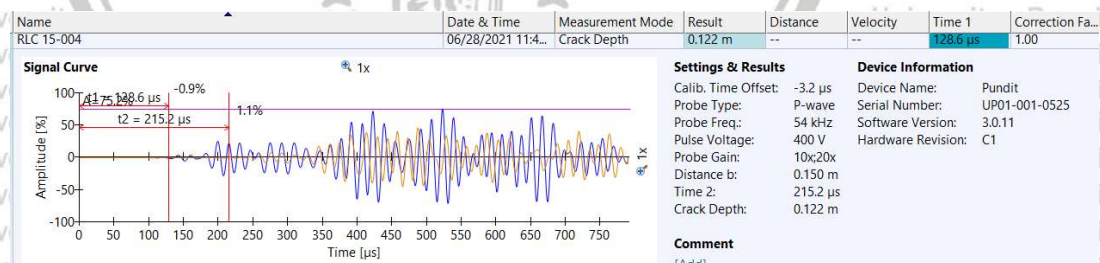
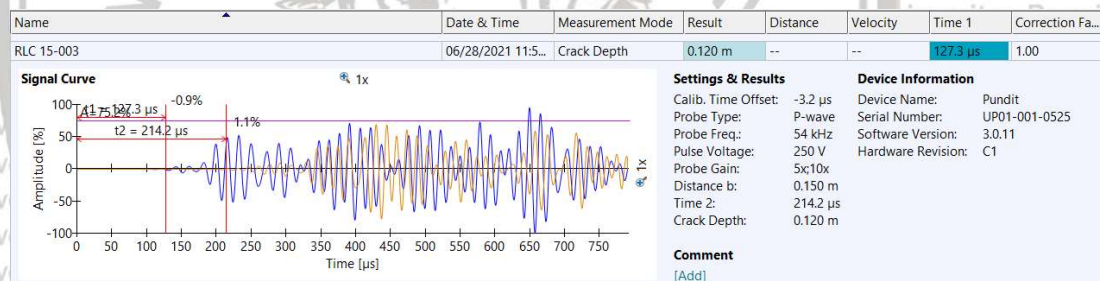
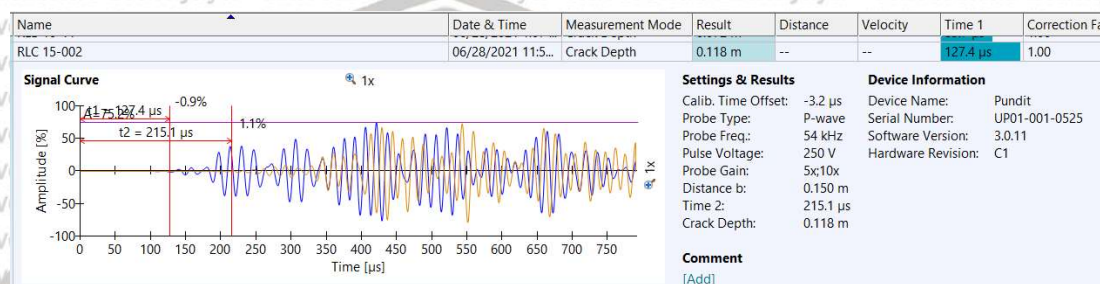
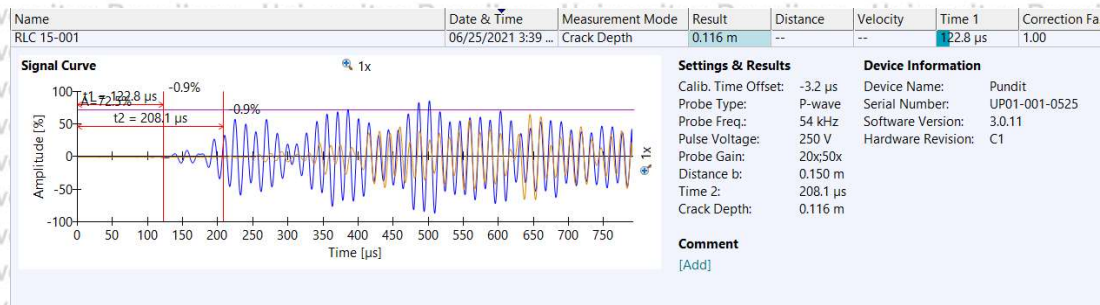


# Lampiran 16. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 10 cm





## Lampiran 17. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur 'Crack Depth' pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 15 cm



# Lampiran 18. Output Hasil Pengujian UPV dengan Fitur ‘Transmission Time’ pada Beton Tidak Bertulang dengan Kedalaman Retak 12 cm dan Perletakan Transduser 15 cm

